

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2024, №3 (26)

СЕТЕВОЕ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ИЗДАНИЕ

***Expert:
theory and practice***

12+

АНО «ИССТЭ»

Тольятти/Tolyatti



Учредитель

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

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

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

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

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

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



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

Редакционный совет:

ПЕТРОВ 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

МАИЛЯН Левон Рафаэлович – академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской 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)

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

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

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

Founder

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

Published since 2019. Published 4 times a year.

Prefix DOI: 10.51608/26867818

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

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

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

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



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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vladimir P. SELIAEV – 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ХОЗИН Вадим Григорьевич – Заслуженный деятель науки РФ и 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., CIRD of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРСОНАЛИИ

ЮБИЛЕИ И ЮБИЛЯРЫ.....	11
90 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ЛЯХОВИЧУ ЛЕОНИДУ СЕМЕНОВИЧУ.....	12
85 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ХОЗИНУ ВАДИМУ ГРИГОРЬЕВИЧУ.....	13
85 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ СОЛЮЯНОВУ ЮРИЮ ИВАНОВИЧУ.....	14
70 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ МАИЛЯНУ ЛЕВОНУ РАФАЭЛОВИЧУ.....	16
65 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ЛЕОНОВИЧУ СЕРГЕЮ НИКОЛАЕВИЧУ.....	17
65 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ВАВРЕНЮК СВЕТЛАНЕ ВИКТОРОВНЕ.....	19

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

О КОНФЕРЕНЦИИ «НОВЫЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ И МЕСТНОГО СЫРЬЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ» ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ХРИТАНКОВ Владимир Федорович.....	21
---	-----------

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

МИКРОКАЛЬЦИТ В СОСТАВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА ЦЕМЕНТАХ С НОРМИРОВАННЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ АКТИВНОСТИ И НИЗКОАКТИВНОМ ЦЕМЕНТЕ БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна.....	27
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИМИ СИЛИКАТНЫМИ ДОБАВКАМИ БАРТЕНЬЕВА Екатерина Анатольевна, ИЛЬИНА Лилия Владимировна.....	34
КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОСНОВАНИИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕЁ УСТОЙЧИВОСТИ ДОЛГАЧЁВ Михаил Владимирович, ПОПОВ Александр Николаевич.....	41
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ИЛЬИНА Лилия Владимировна, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, ЛЫТКИНА Евгения Владимировна.....	48
ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСТЕРИН Егор Валерьевич, ФОМИНА Оксана Андреевна, СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич.....	56

ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ИОАННО-БОГОСЛОВСКОГО СОБОРА В ГОРОДЕ САРАНСК ЛАВРОВА Ольга Владимировна, ЖЕЛТОВА Марина Андреевна.....	63
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С МАЛЫМ ПРОЛЕТОМ СРЕЗА ЛАСЬКОВ Николай Николаевич, ЛАВРОВА Ольга Владимировна.....	67
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК МУРАШКИН Василий Геннадьевич, КОЗЛОВ Александр Вячеславович.....	71
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ПРИ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПРОХОРОВА Алла Валерьевна.....	75
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович, ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ИСКАНДАРОВ Марат Хайруллович.....	79
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТРАНЕНИЮ КОЛЛИЗИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ЗДАНИЙ РИМШИН Владимир Иванович, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, РОЩИНА Светлана Ивановна, УСАНОВ Сергей Владимирович.....	87
МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПОЗИТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИГНИНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ СМИРНОВА Ольга Евгеньевна.....	95
ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ ФИБР В СЕЧЕНИЯХ ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУХАНОВ Андрей Владимирович, ШИЛОВ Александр Андреевич, МАИЛЯН Левон Рафаэлович.....	103
ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ТАРАКАНОВ Олег Вячеславович, ФИШЕР Ханс-Бертрам.....	112
МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА	
МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА. ЧАСТЬ 2. ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, СЕЛЯЕВ Павел Владимирович, БАБУШКИНА Дельмира Рафиковна.....	118
ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ БУТОВКА Алексей Николаевич, КРЕТОВ Дмитрий Александрович.....	123
РАЗВИТИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, КОРНИЕНКО Сергей Валерьевич, ПАНФИЛОВ Степан Александрович, КАБАНОВ Олег Владимирович, СЕРГУШИНА Елена Сергеевна.....	128
УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ.....	137

CONTENT

PERSONALITIES

ANNIVERSARIES AND ANNIVERSARY CELEBRANTS.....	11
---	----

CONFERENCE MATERIALS

ABOUT THE CONFERENCE “NEW PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL APPROACHES IN THE USE OF WASTE AND LOCAL RAW MATERIALS IN CONSTRUCTION” PICHUGIN Anatoly Petrovich, KHRITANKOV Vladimir Fedorovich.....	21
--	----

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

MICROCALCITE IN THE COMPOSITION OF FINE-GRAINED CONCRETES ON CEMENTS WITH A NORMALIZED ACTIVITY INDEX AND LOW-ACTIVITY CEMENT BARKOVSKAY Svetlana Vladimirovna.....	27
FEATURES OF THE STRUCTURE FORMATION OF CELLULAR CONCRETE WITH CALCIUM-CONTAINING SILICATE ADDITIVES BARTENJEVA Ekaterina Anatol'evna, ILINA Liliia Vladimirovna.....	34
CONTACT STRESSES IN THE FOUNDATION OF A RETAINING WALL WHEN DETERMINING ITS STABILITY DOLGACHEV Mikhail Vladimirovich, POPOV Aleksandr Nikolaevich.....	41
THE USE OF ALUMINOSILICATE ADDITIVES FOR HARDENING FINE-GRAINED CONCRETE ILINA Liliia Vladimirovna, ANPILOV Sergey Mikhailovich, LYTKINA Evgeniya Vladimirovna.....	48
THE MAIN METHODS AND PROMISING DIRECTIONS FOR CREATING EFFECTIVE CERAMIC WALL MATERIALS ISTERIN Egor Valerievich, FOMINA Oksana Andreevna, STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich.....	56
EXAMINATION OF THE STATE OF THE CULTURAL HERITAGE OBJECT OF THE ST. JOHN THE EVANGELIST CATHEDRAL IN SARANSK LAVROVA Olga Vladimirovna, ZHELTOVA Marina Andreevna.....	63
IMPACT ASSESSMENT OF TRANSVERSE REINFORCEMENT ON THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH A SMALL SECTION SPAN LASKOV Nikolay Nikolaevich, LAVROVA Olga Vladimirovna.....	67
TEST RESULTS OF REINFORCED CONCRETE BEAM SAMPLES MURASHKIN Vasily Gennadievich, KOZLOV Alexander Vyacheslavovich.....	71
TUDY OF SURVIVALITY OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES OF A MULTISTORY BULDING UNDER EXPLOSIVE IMPACTS PROKHOROVA Alla Valeryevna.....	75

CONCEPTUAL APPROACH TO THE PROTECTION OF BUILDING METAL STRUCTURES BASED ON PROBABILITY-STATIC METHOD FOR CONTROLLING THE PROPERTIES OF PAINT COATINGS PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich, PICHUGIN Anatoly Petrovich, ISKANDAROV Marat Khairulloevich.....	79
--	----

PRACTICAL APPROACHES TO THE RESOLUTION OF COLLISIONS IN BUILDING INFORMATION MODELS RIMSHIN Vladimir Ivanovich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, ROSCHINA Svetlana Ivanovna, ROSCHINA Svetlana Ivanovna.....	87
---	----

METHODOLOGY OF PRODUCING BIOPOSITIVE COMPOSITES USING LIGNIN-CONTAINING WASTES SMIRNOVA Olga Evgenievna.....	95
--	----

PROBABILISTIC MODELING OF DISTRIBUTION AND ORIENTATION OF FIBERS IN SECTIONS OF FIBER-REINFORCED CONCRETE ELEMENTS SUKHANOV Andrey Vladimirovich, SHILOV Alexandr Andreevich, MAILYAN Levon Rafaelovich.....	103
---	-----

PRINCIPLES OF OBTAINING HIGH-STRENGTH CONCRETE USING LOCAL RAW MATERIALS TARAKANOV Oleg Vyacheslavovich, FISCHER Hans-Bertram.....	112
--	-----

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

THE MECHANICS OF CONCRETE DESTRUCTION. PART 2. FRACTAL MODEL OF CONCRETE DESTRUCTION DURING COMPRESSION SELYAEV Vladimir Pavlovich, SELYAEV Pavel Vladimirovich, BABUSHKINA Delmira Rafikovna.....	118
---	-----

EXPERT OPINION

IMPROVEMENT OF THE TECHNICAL REGULATION SYSTEM IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION BUTOVKA Alexey Nikolaevich, KRETOV Dmitry Aleksandrovich.....	123
---	-----

DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM AIMED AT PROVIDING HIGH-LEVEL TRAINING OF SPECIALISTS IN TECHNICAL SPHERES EROFEEV Vladimir Trofimovich, KORNIENKO Sergey Valerievich, PANFILOV Stepan Alexandrovich, KABANOV Oleg Vladimirovich, SERGUSHINA Elena Sergeevna.....	128
---	-----

<i>CONDITIONS FOR POSTING MATERIALS.....</i>	<i>137</i>
--	------------

ЮБИЛЕИ И ЮБИЛЯРЫ

Уважаемые юбиляры!



Редакционный совет, редакционная коллегия, редакция сетевого издания «Эксперт: теория и практика» от души поздравляет Вас, глубокоуважаемых профессоров, с замечательными юбилеями:

- Леонида Семеновича ЛЯХОВИЧА;
- Вадима Григорьевича ХОЗИНА;
- Юрия Ивановича СОЛУЯНОВА;
- Левона Рафаэловича МАИЛЯНА;
- Сергея Николаевича ЛЕОНОВИЧА;
- Светлану Викторовну ВАВРЕНЮК.

Уверены, что безграничная харизма и широкая улыбка всегда будут при Вас!

Желаем талантливым ученым ещё больше научных свершений и открытий, ещё больше энтузиазма и энергии, крепкого здоровья, огромного счастья, удачи, благополучия, дальнейших творческих успехов в созидательной научно-образовательной деятельности, реализации Вами задуманного в создании и инновационном развитии экономики знаний, основанной на достижениях науки и наукоемких технологиях на благо процветания России и Беларуси.

ANNIVERSARIES AND ANNIVERSARY CELEBRANTS

Dear Anniversary Celebrants!

The editorial board, editorial staff, and editorial team of the online publication “Expert: Theory and Practice” extends their sincerest congratulations to you, highly esteemed professors, on your significant anniversaries:

- Leonid Semenovitch LYAKHOVICH;
- Vadim Grigorievitch HOZIN;
- Yuri Ivanovich SOLUYANOV;
- Levon Rafaelovich MAILYAN;
- Sergei Nikolayevitch LEONOVICH;
- Svetlana Viktorovna VAVRENYUK.

We are certain that your unlimited charisma and wide smiles will always be with you.

Distinguished scientists, we wish you even greater scientific achievements and discoveries, even more enthusiasm and energy, as well as good health, happiness, good fortune, and well-being. We wish you success in your constructive scientific and educational activities, and in the implementation of your planned innovative development of the knowledge economy, based on achievements of science and high-tech technologies, for the benefit of Russia and Belarus.

90 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ЛЯХОВИЧУ ЛЕОНИДУ СЕМЕНОВИЧУ



12 сентября 2024 года Леониду Семеновичу ЛЯХОВИЧУ¹ академику РААСН, доктору технических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки и техники России, Почетному строителю России, Почетному строителю Томской области, Лауреату премии Томской области в сфере науки и образования, Заслуженному профессору ТГАСУ, Почетному профессору Ростовского ГСУ, Почетному доктору Воронежского ГАСУ исполнилось 90-лет со дня рождения. Л.С. Ляхович награжден Орденом Дружбы, тремя медалями и многими почетными знаками. Его имя занесено на Аллею трудовой славы строителей Томской области.

В 1955 году он окончил Новосибирский инженерно-строительный институт (Сибстрин) по специальности «Промышленное и гражданское строительство» и был направлен в Томский инженерно-строительный институт. В Томском государственном архитектурно-строительном университете он работает по настоящее время.

Многогранная и эрудированная личность, всем сердцем болеющий за науку и высшую школу ученый. Человек, способный вникнуть в проблемы архитектуры и строительных технологий, сведущий в вопросах экономики и философии. И при этом вдохновляющийся литературой, театром и в целом – искусством. Леонид Ляхович – один из тех, кто стоял у истоков научных школ Томского инженерно-строительного института. В вузе Леонид Семенович начал работать спустя три года после открытия ТИСИ. Будучи молодым выпускником Новосибирского инженерно-строительного института, он с энтузиазмом и свойственной ему энергией взялся за дело. В те годы перед советской

страной стояли вызовы ускоренного восстановления народного хозяйства, развитие промышленности и потребительского сектора.

В 1957 году пересматривался шестой пятилетний план в пользу развития освоения открытых в Сибири месторождений нефти. Он дал качественно новый толчок развития экономики страны. Молодые томские ученые из ТИСИ помогали стране подготовкой кадров и закладывали научный фундамент в предстоящий строительный бум. Огромный вклад в становление и развитие этих процессов внес Леонид Семенович Ляхович.

Вся жизнь профессора прочно связана с системой высшей школы России. Основные научные интересы академика Ляховича касаются вопросов развития теории расчета сооружений на устойчивость и колебания, проектирования оптимальных систем. Предложенный им энергетический критерий эквивалентности систем в расчетах на устойчивость и собственные колебания явился основой для развития теории аппроксимации при описании некоторых процессов поведения сооружений, в том числе при обработке результатов неразрушающих испытаний. Им опубликованы десятки работ в виде монографий, статей, учебников и учебных пособий. Этот теоретический базис помог развитию строительного комплекса Сибири, всех республик и регионов страны.

Леонид Семёнович является учёным мирового уровня в области расчёта сооружений на устойчивость и колебания, проектирования систем минимальной материалоемкости. Предложенный им энергетический критерий эквивалентности систем в расчетах на устойчивость и колебания явился

¹ Фото, информация о юбилее: <https://tsuab.ru/news/professor-i-akademik-leonid-lyakhovich-prazdnuet-90-letniy-yubiley>



основой для развития теории процессов поведения сооружений. Сформулированный им метод разделения собственных значений развивает теорию качественного анализа устойчивости и колебаний сооружений.

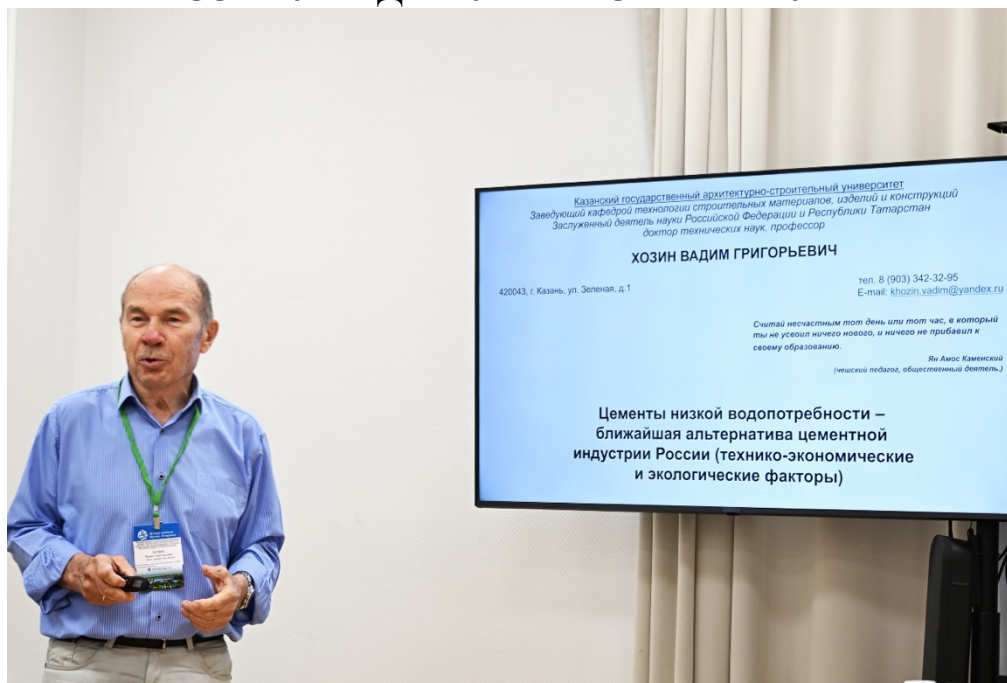
Более 15 лет Л. С. Ляхович был членом экспертного совета ВАК по строительству и архитектуре, является членом Президиума и Ученого совета РААСН. В течение многих лет он – советник губернатора Томской области.

Созданная Леонидом Семеновичем научная школа получила признание широкой научной общественности. Под его научным руководством воспитано несколько поколений именитых ученых, подготовлено 30 кандидатов и 3 доктора наук – это лишь короткий официальный список тех, кто продолжил развивать заложенные им научные основы или создал собственные направления.

Тысячи выпускников Леонида Ляховича стали квалифицированными инженерами-строителями, передовиками, руководителями строительных организаций. Через своих студентов Леонид Ляхович сделал огромный вклад в развитие Томской области и всей страны. Его ученики – выпускники ТИСИ – строили «Томскнефтехим», город Стрежевой и объекты нефтяного промысла. Закладывали город Кедровый, ЗАТО Северск и многие другие, стратегически важные для области объекты.

Он автор более 100 научных работ и фундаментальных трудов по методам расчёта и оптимального проектирования строительных конструкций, член Редакционного совета сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ.

85 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ХОЗИНУ ВАДИМУ ГРИГОРЬЕВИЧУ



18 сентября 2024 года Вадиму Григорьевичу ХОЗИНУ² доктору технических наук, профессору Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Заслуженному деятелю науки Российской Федерации и Республики Татарстан, Почетному работнику высшего

профессионального образования Российской Федерации исполнилось 85-лет со дня рождения.

В. Г. Хозин родился в г. Альметьевск ТАССР. Окончил в 1962 году строительно-технологический факультет Казанского инженерно-строительного института по специальности «Инженер-строитель-технолог». По окончании вуза работал мастером на

²Фото редакции, информация о юбиларе:

<https://esstu.ru/gallery/viewGallery.htm?galleryId=355https://www.kgasu.ru/news/kgasu/universitetskaya-zhizn/zasluzhennyy-professor-kgasu-khazin-vadim-grigorevich-otmechaet-85-letniy-yubiley/>



Алтае в строительном тресте, служил в рядах Советской Армии, был главным технологом завода ячеистых бетонов в г. Набережные Челны.

1965-1967 – аспирант кафедры пластических масс Казанского инженерно-строительного института. В 1969 году присуждена ученая степень кандидата технических наук, 1971 год – присвоено ученое звание доцента. 1967-1982 – ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры пластических масс КИСИ. 1982 год – присуждена ученая степень доктора технических наук. 1984 год – присвоено ученое звание профессора. 1982-1985 – заведующий кафедрой пластических масс. С 1985 года – заведующий кафедрой технологии строительных изделий и конструкций (ТСМИК).

Хозин Вадим Григорьевич – один из ведущих ученых в области строительного материаловедения, разработки технологии получения композиционных материалов на основе неорганических вяжущих и полимеров. Им создана научная школа по структуре и физико-химической модификации полимеров и минеральных вяжущих. Автор 58 авторских свидетельств и патентов и более 500 научных публикаций. Подготовил 40 кандидатов и 1 доктора наук.

Член диссертационных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Хозин В. Г. – член научно-технического совета по строительству объектов метро и транспортной инфраструктуры Департамента строительства г. Москвы, член НТС Министерства строительства и ЖКХ РФ, член НТСО АО «Татнефтехиминвест-

холдинг». Руководитель испытательного центра "Татстройтест" при КГАСУ, аккредитованного Госстроем РФ. Руководитель научно-исследовательского инновационного центра «НИЦНанотех-СМ» при КазГАСУ. Аккредитованный эксперт Российской корпорации нанотехнологий «РОСНАНО». Научный руководитель проектов, победивших в открытых конкурсах ФЦП. Вадим Григорьевич является членом редколлегии интернет-журнала «Нанотехнологии в строительстве», ответственный редактор сборника научных трудов «Полимеры в строительстве», главный редактор научного интернет-журнала «Полимеры в строительстве», член редакционной коллегии сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ.

Награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации, медалью Республики Татарстан "За доблестный труд". Заслуженный профессор КГАСУ. Обладатель наград престижных международных выставок изобретений в Брюсселе (1991 - золотая медаль), Питсбурге (1992 - диплом), Софии (1996 - золотая медаль), на Филиппинах (1997 - диплом).

Увлекается альпинизмом, член Федерации альпинистов Татарстана, покорил многие вершины, в том числе пик Ленина, Эльбрус, Монблан и др., совершил восхождение на высшую точку Горного Алтая и Сибири – гору Белуха по скально-ледовому маршруту.

85 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ СОЛУЯНОВУ ЮРИЮ ИВАНОВИЧУ



25 сентября 2024 года Юрию Ивановичу СОЛУЯНОВУ³ доктору технических наук, профессору, Заслуженному строителю Российской Федерации, Почетному строителю России, Заслуженному строителю ТАССР, Почетному гражданину Казани, профессору Казанского государственного энергетического университета исполнилось 85-лет со дня рождения.

Ю. И. Солуянов демонстрирует всей своей жизнью и опытом суперпрофессионализм, который позволяет делать этот мир лучше. Его профессионализм отмечен многими государственными и ведомственными наградами, в т.ч. орденом «Дружба», Орденом «Знак Почета», серебряной и золотой медалями ВДНХ и др.

Юрий Иванович, человек, чьи значительные и созидательные результаты трудовых достижений, научно-исследовательская деятельность охватили эпоху в несколько десятилетий – яркий пример успешного совмещения практической работы и научной деятельности, оставаясь преданным своей профессии на протяжении всей жизни. Его вклад в развитие строительного комплекса и науки

³Фото, информация о юбилее: <https://tatem.ru/https://roselmon.su/news/>



невозможно переоценить, а история юбилера вдохновляет новое поколение инженеров, производственников, ученых на достижение и покорение новых профессиональных вершин.

Солуянов Ю. И. родился в Горьковской (ныне Нижегородской) области, был старшим из троих сыновей в семье химика-технолога и врача. Учился в школе в Горьком, увлекался химией и физикой. По окончании средней школы, будущая профессия – инженера-электромонтажника была определена ранее, за школьной партией, поступил и окончил Горьковский политехнический институт. По результатам обучения, Юрий Иванович получил распределение в трест «Татэлектромонтаж» и начал свою трудовую карьеру в Альметьевском монтажном управлении. Прошел тернистый путь от мастера, прораба, начальника участка, начальника производственно-технического отдела, главного инженера треста, а с 1982 года был назначен его управляющим. Его имя неизменно ассоциируется со знаменитым брендом «ТАТЭМ», руководителем которого он был более 35 лет. Трудовая книжка Юрия Ивановича – пример верности своей профессии – в ней значится всего одно место работы!

География строительных объектов, построенных под руководством и непосредственным участием юбилера огромна и впечатляет – это территория СССР, среди которых: объекты нефтегазовой промышленности в Альметьевске, ликвидация последствий землетрясения в Армении, в Спитаке, объекты в Иркутской области, разработка северных месторождений нефти «ЛУКОЙЛа» – Когалыма, Урая, Лангепаса, заводы «Нижнекамскнефтехим», «ВАЗ», «КАМАЗ», строительство энергетических объектов метрополитена в г. Казань, в г. Москва (Ломоносовская, Нижегородская), освещение улиц и бульваров Москвы, Огни на Тверской, освещение Казанского Кремля, комплекс объектов «ТАНЕКО» в Нижнекамске и др.

Несмотря на значительные успехи в строительстве, Юрий Иванович всегда стремился к новым знаниям, к науке. Приобретая уникальный производственный опыт в строительной отрасли и его стремление к исследованиям, новизне в последствии были отражены и защищены в кандидатской и докторской диссертациях, в нормативной документации, в новых ГОСТах, СП по вопросам электроснабжения объектов жилья и в нормативах по удельным нагрузкам.

После защиты докторской диссертации, Юрий Иванович возглавлял Государственную экзаменационную комиссию, кафедру электроснабжения промышленных предприятий Казанского энергетического института. Более 40 лет посвятил себя научно-исследовательской работе, руководил дипломными проектами, открыл новую кафедру – безопасности жизнедеятельности.

Многогранная и эрудированная личность, всем сердцем болеющий за строительную отрасль и науку, профессор Солуянов автор более 100 научных трудов, автор изобретений, учебных пособий, среди которых «Повышение эффективности защитных мер электробезопасности электроустановок промышленных предприятий».

Юрий Иванович активно сочетает науку и практику – президент Ассоциации «Росэлектромонтаж», председатель комитета Российского Союза Строителей по энергоресурсосбережению, председатель технического комитета Росстандарта ТК 337 «Электроустановки зданий», член редакционной коллегии сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ, избирался депутатом Казанской городской Думы.

Юбилер не только верит в будущее строительной профессии, но и активно поддерживает и развивает систему подготовки молодых кадров, считая это залогом успешного будущего строительной отрасли и России.

70 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ МАИЛЯНУ ЛЕВОНУ РАФАЭЛОВИЧУ



23 сентября 2024 года Левону Рафаэловичу МАИЛЯНУ⁴ академику РААСН, доктору технических наук, профессору Донского государственного технического университета, Заслуженному строителю России, Почетному строителю России, Почётному строителю Юга и Северного Кавказа, Лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники, Лауреату серебряной медали РААСН исполнилось 70-лет со дня рождения.

Левон Маилян родился в г. Баку Азербайджанской ССР. В 1955 году семья переехала в г. Ростов-на-Дону, РСФСР. В 1961 г. поступил в математическую школу №5 г. Ростов-на-Дону, по ее окончании в 1971 г. поступил в Ростовский инженерно-строительный институт, который закончил в 1976 г. по специальности «Промышленное и гражданское строительство» с отличием. В 1977 г. поступил и в 1980 г. закончил аспирантуру при Ростовском инженерно-строительном институте, защитив под научным руководством доктора технических наук, профессора С. М. Крылова (НИИЖБ) кандидатскую диссертацию «Перераспределение усилий в неразрезных железобетонных балках с обычной и высокопрочной арматурой» по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции в Ленинградском инженерно-строительном институте.

Затем работал ассистентом, старшим преподавателем, доцентом Ростовского инженерно-строительного института, продолжая заниматься научной работой. В период 1980-89 гг. подготовил 7

кандидатов технических наук, защитивших диссертации в диссертационных советах ВЗИСИ (Москва), КИСИ (Киев), БПИ (Минск), ТашПИ (Ташкент), ТалПИ (Таллин), ВИСИ (Воронеж). В 1987 г. поступил и в 1989г. закончил докторантуру при Ростовском инженерно-строительном институте, защитив при научных консультациях доктора технических наук, профессора В. М. Бондаренко (ВЗИСИ) докторскую диссертацию «Разработка методов системного комплексного расчета статически неопределимых железобетонных балок с учетом полных диаграмм деформирования материалов, сечений и конструкций на силовые воздействия различных видов» по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции во Всесоюзном заочном инженерно-строительном институте.

После защиты работает по настоящее время профессором Ростовского инженерно-строительного института (переименованном в Ростовскую государственную академию строительства, а позднее – в Ростовский государственный строительный университет, затем в Донской государственный технический университет – ДГТУ). Читает курсы железобетонных и строительных конструкции в ДГТУ. Председатель докторского диссертационного совета ДГТУ по специальностям 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения, 05.23.05 – Строительные материалы и изделия и 05.23.08 – Технология строительного производства. Осуществляет активную научную и педагогическую деятельность на кафедре «Автомобильные дороги».

С 2007 года – ученый секретарь Южного регионального отделения Российской Академии архитектуры и строительных наук. Левон Рафаэлович в 2010 г. избран членом-корреспондентом, в 2021 году – действительным членом (академиком) РААСН.

Им подготовлено 6 докторов и 28 кандидатов технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. По приглашению читал лекции в университетах США, Великобритании, Югославии и Йемене. Среди учеников – ныне профессора в Индии, Ливане, Йемене и Иордании. Опубликовал свыше 250 работ, в том числе 39 книг (из них 5 учебников и учебных пособий с грифами Минвуза СССР, РФ и других министерств, 29 монографий и 13 справочников), 2 альбома типовых проектов, 5 региональных норм проектирования, 2 авторских свидетельства на изобретения. Принимал участие в создании СНиП и СП по железобетонным конструкциям, а также большинства нормативных документов по лицензированию и саморегулированию.

Левон Маилян вместе с научной и преподавательской деятельностью ведет большую

⁴Фото редакции, информация о юбилеяре: <https://www.livelib.ru/author/296281-levon-mailyan>; <https://web.archive.org/web/20200220154937/>; http://ru.hayazg.info/Маилян_Левон_Рафаэлович



инженерную работу по обследованию, выполнению проектных решений по усилению аварийных зданий и сооружений. Свыше 50 объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства в Южном федеральном округе было возвращено в действие благодаря его с учениками инженерной деятельности. Среди наиболее крупных объектов – здание автодорожного техникума в Ростове-на-Дону, дымовые трубы в Каменске, верфь судоремонтного завода в Новороссийске, 4 высотных жилых дома в Сочи, хлебопекарня в Анапе и многие другие.

Одновременно с преподавательской деятельностью Л. Р. Маилян работал начальником Центра лицензирования строительной деятельности Ростовской области (1992-1997), директором Северо-Кавказских регионального и окружного (1997-2001), Южного окружного (2001-2010) филиала Федерального лицензионного центра при Госстрое России. С 2009г. — председатель Правлений СРО НП «Объединение строителей Южного и Северо-

Кавказского округов», «Объединение проектировщиков Южного и Северо-Кавказского округов» и «Объединение изыскателей Южного и Северо-Кавказского округов». Исполнительный директор Союза строителей Юга и Северного Кавказа. Главный редактор газеты «Строительный Комплекс», член редакционного совета сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ.

Награжден: медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, присвоено звание «Заслуженный строитель Российской Федерации», «Почетный строитель России», «Почетный строитель Юга и Северного Кавказа», медалью «200 лет МВД России», медалью «300 лет Российскому Флоту», Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Лауреат серебряной медали РААСН, ведомственными, образовательными наградами, почетными грамотами Минстроя, Госстроя и Минрегиона России.

65 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ЛЕОНОВИЧУ СЕРГЕЮ НИКОЛАЕВИЧУ



6 августа 2024 года Сергею Николаевичу ЛЕОНОВИЧУ⁵ доктору технических наук, профессору, иностранному члену – академику РААСН, заведующему кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» Строительного факультета Белорусского

национального технического университета (БНТУ) г. Минск, Республика Беларусь, исполнилось 65 лет со дня рождения.

Сергей Николаевич родился в г. Дзержинске Минской области, СССР.

⁵Фото, информация о юбиляре из открытых источников:

<https://raasn.ru/news/6784><https://bntu.by/person/leonovich-sergei>; <https://times.bntu.by/news/5248-sergeyu-leonovichu>



Вскоре семья переехала в город Слуцк, расположенного на реке Случь в 105 км к югу от Минска. Случчина, родина его родителей и всех его предков. В Слуцке он закончил среднюю школу №6 с золотой медалью.

Из воспоминаний Сергея Николаевича, он учился в замечательной школе, у него были замечательные учителя, благодаря которым он заочно закончил физико-математическую школу при Московском физико-техническом институте (МФТИ), в одном из трёх лучших институтов Советского Союза. Часто он участвовал в олимпиадах по физике и математике. Собирался даже туда поступать. Но после 8–9 класса, когда проходил практику в Солигорске на Стройтресте №3, Сергей захотел стать инженером-строителем.

У него был выбор только между двумя вузами: Ленинградским инженерно-строительным институтом и Белорусским политехническим институтом. Несмотря на то, что юбиляр очень любил Ленинград и любит Санкт-Петербург, много раз там бывал, но потом он всё-таки выбрал БПИ–Минск, потому что именно там строительный факультет пользовался большим авторитетом, да и до дома родителей было всего 100 километров.

В институте Леонович С. Н. занимался научной работой на кафедре металлических конструкций, а на каникулах, в качестве командира студенческого отряда участвовал в пяти трудовых семестрах. Студентами работали в Беларуси, в Смоленской области, в Хорватии. Получилось так, что после окончания института он был первый по распределению, но выбрал тот же солигорский Стройтрест №3, в котором проходил практику и работал ещё в школьные годы.

Затем, Сергей Николаевич вернулся в БПИ и стал работать на кафедре железобетонные каменные конструкции. Одновременно поступил в аспирантуру, в научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) г. Москва – ведущий научно-исследовательский институт Госстроя СССР, где прошел колоссальную научную школу и выполнил по теме кандидатской диссертации уникальный эксперимент в лаборатории коррозии.

Результаты теоретических исследований проверены в практике на реальных объектах: Бушеровской атомной станции в Иране, где были

выполнены уникальные экспертные исследования по влиянию хлоридных агрессивностей со стороны персидского залива на возводимое сооружение; с ведущей организацией по программе «Арктика» – Дальневосточным федеральным университетом – на острове Русский.

Новое направление востребовано и развивается в образовательном ключе, в договоре с китайским университетом Циндао по проведению научных исследований трех крупных проектов по морским сооружениям и конструкциям.

Сергей Николаевич активно продолжает работу научным консультантом и главным научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории «Промышленное и гражданское строительство» по тематике международных исследований представляя научно-исследовательский политехнический институт БНТУ. По бессрочному договору, более 17 лет читает курс лекции на английском языке в Венском университете по «Технологии реконструкции зданий и сооружений», является научным руководителем англоязычного аспиранта из Канады, по руководством которого ведутся крупные проекты и т.п.

Леонович Сергей Николаевич, инженер-строитель, доктор технических наук, профессор, специалист в области механики, материаловедения и строительных конструкций, избран: иностранным академиком Российской академии архитектуры и строительных наук, член-корреспондентом Белорусской инженерной академии и Белорусской академии архитектуры, заместителем председателя научного совета РААСН «Механика разрушения материалов и конструкций», сопредседателем рабочей группы Технического комитета РИЛЕМ.

Дважды Лауреат персональной надбавки Президента Республики Беларусь "За выдающийся вклад в социально-экономическое развитие государства".

Он автор более 360 научных работ и фундаментальных трудов по методам расчёта и оптимального проектирования строительных конструкций, участвует в работе редколлегии 17 научных изданий, в том числе член редакционной коллегии сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию K2 перечня ВАК Минобрнауки РФ.



65 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ВАВРЕНЮК СВЕТЛАНЕ ВИКТОРОВНЕ



9 сентября 2024 года Светлана Викторовна ВАВРЕНЮК⁶ отмечает свой юбилей – член–корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС (Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству), Заслуженный строитель России, Почётный строитель России.

Профессиональный, жизненный созидательный путь и талант ученого Светланы Викторовны по организации эффективной научной деятельности тесно связан с Владивостоком и более 40 лет, с ДальНИИСЦНИИП Минстроя России.

Светлана Викторовна является одним из ведущих ученых-практиков в области строительного материаловедения на Дальнем Востоке. Основные направления научной деятельности – исследование минерального сырья Дальнего Востока, и разработка на его основе современных эффективных строительных материалов и технологий получения.

Вавренюк С. В. эксперт Российской академии наук, член ТК-465, является руководителем Органа по сертификации продукции в строительстве, экспертом РФФИ и государственной программы «Старт», экспертом в системе ГОСТ Р, членом диссертационного совета по защите докторских

диссертаций Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Председателем Государственной экзаменационной комиссии у магистров и аспирантов Дальневосточного Федерального университета по направлению «Строительство», руководителем курсов повышения квалификации для специалистов строительной отрасли учебного центра ДальНИИС, член редакционной коллегии сетевого издания «Эксперт: теория и практика», включённого в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ.

Автор более 74 опубликованных научных трудов, монографий, включая 4 патента на изобретения.

Большой вклад внесен С. В. Вавренюк в становление и развитие каркасного монолитного высотного строительства в Приморском крае и развитие массового производства изделий по технологии полусухого вибропрессования.

С. В. Вавренюк создан новый класс цементных покрытий с совершенно новыми механизмами защитного действия, которые успешно применяются для защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций, эксплуатируемых в сложных природно-климатических условиях юга Приморского края.

При Вашем непосредственном участии построены такие знаковые объекты для региона и

⁶Фото, информация о юбиляре из открытых источников:

<https://raasn.ru/news/1201><http://dalniis.org/index.html><https://cniipminstroy.ru/press/news/pozdravlyaem-s-yubileem-svetlanu-viktorovnu-vavrenyuk>



Персоналии

страны в целом как вантовые мосты через бухту Золотой Рог и на острове Русский, аэропорт города Владивостока и Дальневосточный федеральный университет, федеральная трасса М-60 и объекты судостроительной верфи «Звезда ДСМЕ».

За многолетний добросовестный труд и профессионализм Светлана Викторовна награждена Почетными грамотами Министерства регионального развития Российской Федерации, Министерства

строительства Хабаровского края, Российской академии архитектуры и строительных наук, вице-губернатора Приморского края.

Уважаемая Светлана Викторовна, Вы состоялись как профессионал и человек, достигли впечатляющих результатов, однако впереди еще много интересной работы и возможностей для Ваших новых побед.

Материалы конференций

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство. Архитектура

БАК: 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5 Строительные материалы и изделия; 2.1.9. Строительная механика; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

DOI 10.51608/26867818_2024_3_21

О КОНФЕРЕНЦИИ «НОВЫЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ И МЕСТНОГО СЫРЬЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

© Авторы 2024
SPIN: 6626-3274

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

Сопредседатель оргкомитета Международной научно-практической конференции «Новые рецептурно-технологические подходы при использовании отходов и местного сырья в строительстве», доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник *Новосибирский государственный аграрный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)*

AuthorID: 468151

ХРИТАНКОВ Владимир Федорович

Сопредседатель оргкомитета Международной научно-практической конференции «Новые рецептурно-технологические подходы при использовании отходов и местного сырья в строительстве», доктор технических наук, профессор *Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (Россия, Новосибирск)*

С 16 по 20 июля 2024 года в конференц-зале туристического комплекса «Бухта Лазурная» (Новосибирская область) проходила Международная научно-практическая конференция «**НОВЫЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ И МЕСТНОГО СЫРЬЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**». Организаторами конференции явились Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Объединенная редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®, Российская Академия естественных наук (РАЕН), Российская Академия проблем качества (АПК).

Тематика конференции предусматривала освещение следующих вопросов и проблем:

- Использование отходов и местного сырья в России и за рубежом. Современное состояние;
- Новые технологические решения в материаловедении при получении строительных изделий из отходов и местного сырья;
- Использование нанодобавок для повышения качества строительных композитов на основе местного сырья;

- Практические примеры внедрения новых материалов и технологий из отходов в строительстве;
- Контроль качества строительных материалов и изделий на этапах выбора сырьевых ресурсов.

Ученые из многих городов России и зарубежья стали участниками данной конференции. На этапе подготовки к мероприятию более сорока докторов и десятки кандидатов наук представили свои доклады и сообщения по предложенной тематике.

С приветственными словами от организаторов конференции выступили: советник ректора НГАУ, д.т.н., профессор ДЕНИСОВ Александр Сергеевич; ректор НГАСУ чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессор СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, руководитель ООО «Карачинский источник» д.т.н., профессор ХРИТАНКОВ Владимир Федорович, пожелавшие успешного проведения научно-практического мероприятия.

Первый доклад на тему: «**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ И МЕСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**» сделал д.т.н., профессор Пичугин Анатолий Петрович (содокладчики - д.т.н., проф. Хританков В.Ф., д.т.н., проф. Денисов А.С., Новосибирск,

Россия), представившие объемную картину наличия отходов и местного некондиционного сырья, а также пути его эффективного использования в строительстве на основе отечественного и зарубежного опыта. На иллюстрированных примерах, в том числе и результатах собственных исследований, авторы показали катастрофические объемы отходов и некондиционного сырья, а также низкий процент их использования в различных странах; раскрыли перспективы применения местных ресурсов для широкого спектра внедрения в практику строительства. Особое место в докладе было уделено использованию новейших технологий и новых подходов к традиционным материалам и изделиям. Большой интерес у присутствующих вызвал многолетний способ утилизации отходов путем дезинфекции, формирования и прессования блоков с последующей консервацией полимерной пленкой, используемых при возведении островов и в дорожном строительстве Японии. Оригинальное техническое решение представляет комплексное использование отходов стекла в производстве керамостекляных плит для тротуаров и площадей. Интересный опыт трансформации отходов и местного сырья накоплен в Германии, Франции, Бельгии, Италии, Америке и других странах. Очень интересными рецептурно-технологическими решениями с использованием наноразмерных добавок располагают НГАУ и НГАСУ. Их разработки подтверждены практическим внедрением в строительстве и при ремонтных работах в Сибири. Это и гранулированное растительное сырье в качестве легкого крупного заполнителя бетонов и теплоизоляции зданий и сооружений; арболит со светопропускающим эффектом; полимерсиликатные антикоррозионные составы, модифицированная полимерами древесина, асфальтобетонные смеси на доменных шлаках с нанодобавками и пр. Доклад вызвал ряд вопросов научного сообщества, на что докладчики дали обстоятельные и убедительные ответы.

Не менее интересным было выступление ректора НГАСУ, чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессора Сколубовича Юрия Леонидовича: **«НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА И О ЗАДАЧАХ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**. Намечены конкретные планы, назначены ответственные исполнители по каждому направлению исследований и определены принципы финансирования научно-изыскательских работ, а также заложена периодичность контрольных и отчетных мероприятий. Особенностью предлагаемых организационных решений является комплексный подход, заключающийся в объединении усилий научных, проектных, учебных и производственных учреждений и организаций в единый центр под эгидой РААСН. Экспериментальные исследования предложено проводить силами студентов, аспирантов и магистрантов. Проектные вопросы

решаются совместно проектными организациями и студентами-выпускниками в рамках выпускных квалификационных работ. Обобщение результатов работ остается за аспирантами и их руководителями, а к внедрению результатов должны быть привлечены все участники академического центра. Такой подход может принести ряд положительных достижений в области строительства, в т.ч. и для эффективного использования отходов и местного сырья.

С акцентом на экологические проблемы был сделан доклад д.т.н., профессором **Хозиным Вадимом Григорьевичем** (Казань, Россия), (содокладчики - д.т.н., проф. Низамов Р.К. (Казань, Россия), д.т.н., проф. Шинкевич Е.С. (Одесса, Украина) на тему: **«ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ – БЛИЖАЙШАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ЦЕМЕНТНОЙ ИНДУСТРИИ РОССИИ (ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ)»**. В докладе основной упор был сделан на сокращение отходов производства на предприятиях стройиндустрии, чему может способствовать использование ранее неизученных свойств минерального сырья. Введение в оборот новых видов минеральных вяжущих с низкой водопотребностью (ЦНВ) может дать новый импульс цементной промышленности и снизить энергетические и материальные затраты на производство. Введение добавок направленного действия также может оживить ранее неиспользованные сырьевые ресурсы и обеспечить достойное качество материалов и изделий различного назначения.

Таким образом, наиболее эффективным видом цемента, отвечающих современному мировому тренду устойчивого экологического развития цементной промышленности (основой которого является снижение клинкероемкости), являются ЦНВ и их технологии. Среди них «карбонатные» ЦНВ – наилучшие по экологическим, строительно-техническим и экономическим показателям. Именно они могут и должны стать основным конечным продуктом цементной индустрии России и других стран в ближайшем будущем – её «зеленой» альтернативой. При этом, также эффективно развивать и совершенствовать методы модификации местного сырья и отходов полимера и добавками направленного действия для повышения качества выпускаемых изделий.

О проблемах при производстве бетонных и железобетонных изделий, а также обеспечении качества бетона на всех стадиях его формирования и функционирования с докладом на тему: **«ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНА. ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ»** выступила д.т.н., профессор **Славчева Галина Станиславовна** (Воронеж, Россия). Главный мотив доклада заключался в проблемах и возможностях обеспечения долговечности бетона. Рассмотрены все факторы изменения структуры бетона, включающие процессы гидратации, химической и биокоррозии, физического износа и пр., приводящие к эволюции структуры и снижению прочности,

деформативности, проницаемости и других свойств. Разработана концепция управления свойствами бетона от состава к оптимальной структуре, обеспечивающей заданный срок службы бетонных сооружений. Особенно это важно для гидротехнических и дорожных объектов, работающих при постоянном воздействии увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания. Не менее важную разрушительную роль для деградации бетона играют температурные и влажностные градиенты, химические и биологические активные среды, ледовые воздействия. По каждому из этих направлений в докладе был дан самостоятельный анализ и намечены рациональные пути обеспечения долговечности бетонных элементов зданий и сооружений. Отмечено, что одним из эффективных методов повышения сопротивляемости бетона разрушающим эксплуатационным воздействиям является снижение микропористости цементного камня до 10-12 нм, что обеспечивает замерзание воды в порах только при температуре -35-40 °С.

О новых подходах к повышению прочности бетона доложил *д.т.н., профессор Тараканов Олег Вячеславович* (Пенза, Россия) (содокладчик - *д.т.н., проф. Фишер Г.Б.* (Веймар, Германия)) на тему: **«ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ».**

Основной упор в докладе был сделан на введение в цементные смеси минеральных микронаполнителей, способствующих повышению реологической и гидравлической активностей системы. Увеличение реологической активности наполненной цементной матрицы обусловлено тем, что инертные по отношению к воде минеральные микронаполнители в большей степени подвержены влиянию пластифицирующих добавок. В этом случае достигается большее водоредуцирование системы и формирование более плотной структуры, следствием чего является достижение значительно большей прочности цементных материалов при одинаковом расходе вяжущего.

Характер гидравлической активности минеральных микронаполнителей определяется возможностью их химического взаимодействия с гидратной известью, выделяющейся в цементной системе в процессе гидратации с образованием гидросиликатов кальция различной структуры.

Таким образом, бетоны нового поколения с СП и ГП должны, кроме обычных компонентов, обязательно содержать молотый порошок и тонкозернистый кварцевый песок или молотые плотный известняк, диабаз, гранит, базальт. И если в бетонах старого поколения при одинаковом по качеству щебне и песке для изменения прочности необходимо варьировать содержанием 4-х компонентов, а при использовании СП – пятью, то в бетонах нового поколения необходимо варьировать содержанием семи компонентов (считая микрокремнезем), а в бетонах с фиброй – восемью компонентами. Однако при этом обеспечивается

повышение прочности бетона в полтора-два и более раз.

Как всегда интересным и увлекательным представлен доклад *д.т.н., профессора Анпилова Сергея Михайловича* (Тольятти, Россия) (содокладчик – *академик РААСН, д.т.н., проф. Ерофеев В.Т.* (Саранск, Россия)) на тему: **«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В СОЧЕТАНИИ С ЭФФЕКТИВНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОФИЛЯМИ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ».** В докладе дан широкий анализ по состоянию жилищного фонда в России и вариантам снижения дефицита в «квартирном вопросе». Показано, что жилищный фонд РФ катастрофически стареет без обновления, что приводит к дополнительным издержкам и экономическим потерям. На основе разработок авторов обобщен практический опыт применения инновационных решений из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), обладающих новизной и способностью к обновлению старой жилой застройки с продлением жизненного цикла объектов капитального строительства. Предложены варианты эффективных технических решений по замене ряда строительных конструкций и упрочнению стен и несущих элементов зданий промышленными конструкциями, в том числе и быстровозводимыми объектами. При этом важным фактором внедрения стальных тонкостенных конструкций является полная совместимость с местными сырьевыми ресурсами, что позволяет существенно повысить технико-экономические показатели ремонтно-строительных работ. Показаны примеры реализации авторских предложений и их эффективность при сравнении с традиционными методами ремонта и реконструкции зданий и сооружений различного назначения.

Доклад на тему: **«ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ»** был представлен *к.т.н., доцентом Смирновой Ольгой Евгеньевной* (Новосибирск, Россия) - содокладчики - *д.т.н., проф. Пичугин А.П., д.т.н., проф. Бик Ю.И.* (Новосибирск, Россия), *д.т.н., проф. Ляшенко Т.В.* (Одесса, Украина). В докладе представлены различные виды и объемы растительного сырья и отходов деревообработки, а также основные принципы рациональной переработки и использования материалов и изделий на их основе. Детально проработана методология исследований по получению и изучению свойств композиционных материалов с использованием органических отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств, включающая все этапы от оценки качественных показателей сырья до структурообразования и последующих эксплуатационных характеристик. Оригинальным техническим решением при получении легких бетонов и теплоизоляционных плит является

разработанная авторами технология комплексного использования растительных частиц в совокупности с отходами пенополистирола. Предложены три варианта рецептурно-технологических схем для получения материалов и изделий путем гранулирования, прессования и поризации. При этом представлены варианты изделий обеспечивающие достаточно высокие прочностные качества (более 2,0-3,5 МПа) при минимальной плотности (менее 0,05-0,08 г/см³). Такие материалы востребованы при возведении малоэтажных зданий и объектов хозяйственного назначения.

Положительному опыту применения нанодобавок в строительных композитах на основе местного сырья и отходов производства сделала интересный доклад д.т.н., профессор **Низина Татьяна Анатольевна** (Саранск, Россия) – содокладчик д.т.н., проф. Яковлев Г.И. (Ижевск, Россия) и к.т.н, проф. А.Э.М.М. Эльрефаи (Каир, Египет) на тему: «**НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ К СОЗДАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА**».

В докладе дана оценка различным видам наноразмерных частиц и варианты наиболее эффективного их использования в строительных смесях и композиционных материалах. Показано, что при введении углеродных нанотрубок обеспечивается большой набор качественных показателей, в т.ч. прочности, плотности, деформативности, водо- и морозостойкости. Рациональным расходом нанодобавок считается дозировка в пределах от 0,01 до 0,05% от массы связующего. При этом отмечены структурные превращения в материале. Однако, для различных видов композитов должны быть определены свои рациональные дозировки. Этой же тематике, но только для цементных бетонов посвятил свое выступление и д.т.н., профессор **Белан Василий Иванович** (Новосибирск, Россия) с содокладчиками – д.т.н., проф. Недосеко И.В. (Уфа, Россия) и д.т.н., проф. Себелевым И.М. (Новосибирск, Россия).

Разработке физико-химических и технологических основ применения золошлаковых смесей Иркутской области для производства цементных композиционных вяжущих, зольной керамики и бесклнкерных вяжущих посвящен доклад к.т.н., доц. **Макаренко Сергея Викторовича** (Иркутск, Россия), содокладчик – д.т.н., проф. Хозин В.Г. (Казань, Россия) на тему: «**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ ДОБАВКАМИ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ**». Докладчик представил результаты объемного исследования по эффективному использованию золошлаковых отходов для изготовления целого шлейфа различных материалов и изделий строительного назначения. На основе четкого физико-химического обоснования и оптимальных технологических параметров авторами разработан новый комплекс бесклнкерных минеральных вяжущих веществ и получены изделия из зольной

керамики. Доклад получил полное одобрение участников конференции.

С докладом «**РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТНЫХ ТЯЖЕЛЫХ И ЛЕГКИХ БЕТОНОВ**» выступил к.т.н., доцент **Ананьев Сергей Владимирович** (Владимир, Россия), содокладчик – академик РААСН, д.т.н., проф. Ерофеев В.Т. (Саранск, Россия), представивший комплекс исследований по перспективным разработкам в области цветных лёгких (до 800 кг/м³) фибропенобетонов высокой прочностью (300 кг/см² и более) на основе пенокерамики с контролируемым воздухововлечением макровоздуха. Кроме того, авторами представлены реализованные технологические решения по получения высокопрочных бетонных изделий (1000-1500 кг/см²) различной номенклатуры на мелких песках сибирского региона. В этом же ключе и работа по пенобетонам, представленная к.т.н., доцентом **Бартьевой Екатериной Анатольевной** с содокладчиками – д.т.н., проф. Ильиной Л.В. и д.т.н., проф. Себелевым И.М. (Новосибирск, Россия).

«**ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕР-СОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОГО ВВЕДЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ И ДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК**» – тема доклада к.т.н., доцента **Пчельникова Александра Владимировича**, содокладчики – д.т.н., проф. Пичугин А.П., ст. преподаватель Туляганов А.К. (Новосибирск, Россия), д.т.н., проф. Руссу И.В. (Кишинев, Молдова).

Известно, что защитные полимерсодержащие композиции способны продлить сроки службы различных материалов и изделий, обеспечить их сопротивляемость внешним воздействиям, повысить водо- и коррозионную стойкость, придать новые эстетические качества изделиям и конструкциям зданий и сооружений. Важнейшей составляющих в увеличении качественных характеристик защитных покрытий являются наноразмерные добавки, арсенал которых в настоящее время насчитывает сотни позиций. Поэтому важнейшей задачей сегодняшнего дня является создание нормативной базы и систематизации нанодобавок с рекомендациями по эффективному использованию их при защите существующих и возводимых объектов самого различного назначения. Такой подход рассмотрен в докладе и вызвал закономерный интерес участников конференции.

Серия докладов была посвящена созданию керамических изделий различного назначения, сформулированные в основном по принципу обеспечения качества материалов, полученных на основе глинистого местного сырья и добавок направленного действия. Так, д.т.н., профессор **Верецагин Владимир Иванович** (Томск, Россия) в соавторстве с д.т.н., проф. Бердовым Г.И. (Новосибирск, Россия) и д.т.н., проф. Ганиевым А.Г. (Джизак, Узбекистан) дали полномасштабный обзор мирового опыта по различным эффективным

способам переработки глин и получению высокопрочных керамических изделий.

Профессор, д.т.н. **Плетнев Петр Михайлович** (Новосибирск, Россия) в соавторстве с д.т.н., проф. Котляром В.Д. (Ростов-на-Дону, Россия) предложили оригинальные варианты разработки керамики специального назначения с использованием химического контроля операций на всех этапах подготовки и обжига сырьевой массы.

Профессор, д.т.н. **Шахов Сергей Александрович** (Новосибирск, Россия) в соавторстве с д.т.н., проф. Ковлером К. (Хайфа, Израиль) предложили способы введения зол от сжигания осадков сточных вод и получение стеновой керамики на их основе. В этом же ключе, но со своим оригинальным подходом представлен доклад д.т.н. **Ларичкина Владимира Викторовича** (Новосибирск, Россия) в соавторстве с д.т.н., проф. Duinkherjav Yagaanbuyant (Ulaanbaator, Mongolia).

Не менее интересным явился доклад д.т.н., проф. **Столбоушкина Андрея Юрьевича** (Новокузнецк, Россия) в соавторстве с д.т.н., проф. Нямдорж С., д.т.н., проф. Дашижамц Д. (Улан-Батор, Монголия), посвященный новой оригинальной технологии переработки некондиционного сырья для изготовления отделочной и стеновой керамики.

Несколько интересных работ и результатов исследований были представлены в качестве стендовых докладов и сообщений.

При подведении итогов конференции большинство участников выразили мнение о полезности проведения таких форумов в заданном формате. В качестве рекомендаций по улучшению и проведению конференции было высказано предложение о максимальном приобщении к onlayn-трансляциям ведущих ученых в области материаловедения, а также создание видео обзоров по докладам и сообщениям для аспирантов, магистрантов и преподавателей вузов. Также было высказано предложение о введении спецкурса в вузах строительного профиля и разработке (издании) учебного пособия или коллективной монографии, основанной на результатах проведенной конференции. Кроме того, полезным было бы приглашение руководителей строительных организаций и предприятий стройиндустрии.

Единогласно было принято заключение о проведении аналогичной конференции в следующем году с предварительной направленностью «**Физико-химические процессы при формировании и эксплуатации строительных композиционных материалов**».

Conference materials

ABOUT THE CONFERENCE

“NEW PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL APPROACHES IN THE USE OF WASTE AND LOCAL RAW MATERIALS IN CONSTRUCTION”

© The Author(s) 2024

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

KHRITANKOV Vladimir Fedorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk state University of architecture and civil engineering

(Russia, Novosibirsk)

From 16 to 20 July 2024 in the conference hall of the tourist complex “Buhta Lazurnaya” (Novosibirsk region) was held an international scientific and practical conference

“NEW PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL APPROACHES IN THE USE OF WASTE AND LOCAL RAW MATERIALS IN CONSTRUCTION”.

The conference organizers have been Novosibirsk State Agrarian University (NSAU), Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (NSUACE), Joint Editorial Office of Scientific and Technical Journals “Zhilishchnoe Stroitel'stvo” (“Housing Construction”) and “Stroitel'nye Materialy”

(“Construction Materials”), Russian Academy of Natural Sciences, Russian Academy of Quality Issues.

The conference topics included the following issues and problems:

- Use of waste and local raw materials in Russia and abroad. Current state;
- New technological solutions in material science for the construction production from waste and local raw materials;
- Use of nano-additives to improve the quality of building composites based on local raw materials;

- Practice examples of implementation of new technologies and materials from waste in construction;
- Quality control of building materials and products at the stages of selection of raw materials.

Scientists from many cities of Russia and from abroad have become participants of this conference. During the preparatory phase of the event, more than forty doctors and dozens of candidates of science presented their reports and presentations on the proposed topics.

Welcome speech on behalf of organizers has been held by NSAU Rector's Advisor, Dr. of Technical Sciences, Professor Alexander Sergeyevich DENISOV; NSUACE Rector, corresponding member of RAACS, Dr. of Technical Sciences, Professor Yury Leonidovich SCOLUBOVICH; head of "Karachinsky istochnik" Ltd., Professor Vladimir Fyodorovich HRITANKOV. They wished to successfully conduct the scientific and practical events.

In summarizing the conference, the majority of the participants expressed their opinion that such conferences should be held in a given format. As recommendations for enhancing the conference, a proposal was made to maximize in online broadcasts the involvement of leading scientists in the field of materials science. Another idea was to create video reviews of reports and messages for postgraduate students, master's students and university professors. It was also suggested to introduce special course in the universities of construction profile and development (publication) of a training manual or collective monograph based on the results of the conference. Furthermore, it would be beneficial to invite the heads of construction organizations and enterprises of the construction industry.

The conclusion was unanimously drawn on holding a similar conference next year with the preliminary topic **"Physical-chemical processes in the formation and operation of construction composite materials"**.

Научная статья

УДК 691.32

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

DOI 10.51608/26867818_2024_3_27

МИКРОКАЛЬЦИТ В СОСТАВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА ЦЕМЕНТАХ С НОРМИРОВАННЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ АКТИВНОСТИ И НИЗКОАКТИВНОМ ЦЕМЕНТЕ

© Авторы 2024

SPIN: 1537-7091

AuthorID: 661454

БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры Строительство,
строительные материалы и конструкции

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: ksv.0804@yandex.ru)

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния микрокальцита (тонкомолотого мрамора) на свойства мелкозернистого бетона, изготовленного на цементе с нормированным показателем активности, а также приведены результаты возможности изготовления мелкозернистых бетонов, с введением микрокальцита, замещающего часть расхода цемента, потерявшего свою активность при длительном хранении. Показано, что применение микрокальцита в комплексе с суперпластификатором может использоваться, как модификатор прочности бетона для повышения данного показателя или при изготовлении мелкозернистых бетонов на цементах с низкими значениями активности без дополнительной активации.

Ключевые слова: мелкозернистые бетоны; микрокальцит; микрокарбонат; наполнитель; низкоактивный цемент; суперпластификатор; прочность при сжатии; модификатор; строительные материалы

Для цитирования: Барковская С.В. Микрокальцит в составе мелкозернистых бетонов на цементах с нормированным показателем активности и низкоактивном цементе // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 27-33. doi 10.51608/26867818_2024_3_27

Original article

MICROCALCITE IN THE COMPOSITION OF FINE-GRAINED CONCRETES ON CEMENTS WITH A NORMALIZED ACTIVITY INDEX AND LOW-ACTIVITY CEMENT

© The Author(s) 2024

BARKOVSKAY Svetlana Vladimirovna

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor of the Department
of Construction, Building Materials and Structures

Tula state University

(Russia, Tula, e-mail: ksv.0804@yandex.ru)

Abstract. The article presents the results of a study of the effect of microcalcite (finely ground marble) on the properties of fine-grained concrete made on cement with a normalized activity index, as well as the results of the possibility of manufacturing fine-grained concretes, with the introduction of microcalcite, replacing part of the consumption of cement that has lost its activity during long-term storage. It is shown that the use of microcalcite in combination with a superplasticizer can be used as a modifier of concrete strength to increase this indicator or in the manufacture of fine-grained concretes on cements with low activity values without additional activation.

Keywords: fine-grained concretes; microcalcite; microcarbonate; filler; low-activity cement; superplasticizer; compressive strength; modifier; building materials



For citation: Barkovskay S.V. Microcalcite in the composition of fine-grained concretes on cements with a normalized activity index and low-activity cement // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 27-33 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_27

Введение

В ходе добычи и переработки горных пород образуется большое количество отходов. По данным [1] при производстве только отделочных материалов из природного камня (гранита, мрамора и т.д.) в виде шлама камнеобработки (резки) и брака образуется 25 – 33 % от обработанной массы природных камней. Основной составляющей мрамора, содержание которого достигает 99 %, является минерал кальцит (CaCO_3). Карбонатные горные породы, например, мрамор, имеют меньшую прочность, чем магматические горные породы, если использовать их в качестве заполнителей для изготовления товарных бетонных смесей и бетонов. В данном случае преимуществом карбонатных пород является их повышенная химическая активность. По данным [2-3] прочность сцепления мрамора с цементным камнем выше, чем у известняка или гранита.

Установлено [4], что небольшие количества карбоната кальция (до 4,5 %), введенные в состав цемента, являются активным компонентом. В цементном камне уплотняется структура из-за образования гидрокарбоалюмината кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$), гидрокарбоната кальция ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гидросульфокاربосиликата кальция ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) [4 – 6]. Благоприятно на возникновение этих образований влияет наличие в тонкомолотом мраморе растворимых соединений бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, эти соединения образуются, как на поверхности мрамора, так и внутри цементного камня, что приводит к уплотнению пространства внутри пор, следовательно, увеличиваются показатели прочности и водонепроницаемости [4; 6].

С другой стороны, при производстве цемента, как основного вяжущего для бетонов, промышленность производит порядка 10 % глобальных антропогенных выбросов CO_2 : 40 % относится к сжиганию топлива, а 60 % – химический процесс. Согласно [7] до 8 % мировых выбросов CO_2 каждый год дает производство цемента в количестве 4 млрд.т. Снизить выбросы, связанные с производством портландцемента, в частности из-за разложения карбоната кальция в составе портландцемента, можно снижением содержания клинкера в цементе, т.е. за счет использования тонкомолотых добавок. Введение микрокальцита в состав портландцемента позволит также и частично решить проблему утилизации отходов горнодобывающей промышленности.

Помимо тонкомолотых добавок применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составах бетонов – это повсеместная практика для получения необходимой подвижности бетонных смесей при сокращении расхода воды, что позволяет повысить прочностные показатели. В мелкозернистых же бетонах введение ПАВ это необходимость. Мелкозернистые бетоны – это бетоны с крупностью

заполнителей 0,14...5 мм. Мелкозернистая бетонная смесь – это полидисперсная и многокомпонентная система, которая отличается тем, что при приготовлении вовлекается повышенное количество воздуха. При рассмотрении на поверхности частиц бетонной смеси портландцемента, тонкомолотых добавок (размер частиц до $2 \cdot 10^{-4}$ мм) [8] возникают электрические заряды, а флоккулы, вода в которых неподвижна, образуются от притяжения положительных и отрицательных зарядов. Повышается связанность смеси, т.е. для получения требуемой консистенции необходимо увеличение количества воды затворения [9]. Флоккулы образуют и частицы размеров от $2 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ мм из-за возникновения сольватных оболочек на их поверхностях. Эти оболочки состоят из воды, которая связана с поверхностью твердой фазы адсорбционными силами, слой ориентированной воды составляет до 0,15 мм. Силы изменения свойств воды и связывания в диффузном слое на границе раздела от мономолекулярного слоя воды к полимолекулярным силам уменьшаются. Полный термодинамический потенциал образуется на границе раздела. В пределах более подвижной части двойного диффузного слоя появляется ζ -потенциал (электрокинетический потенциал), который оказывает влияние на устойчивость описываемых тонкодисперсных систем. Мельчайшие частицы прилипают и осаждаются на поверхностях крупных зерен, поэтому они теряют свою подвижность. Получаем, что для сохранения подвижности бетонной смеси необходимо вводить дополнительное количество воды, чтобы увеличить силы отталкивания, а флоккулообразующие силы уменьшить. На основании вышеизложенного видно, что для увеличения подвижности мелкозернистых бетонных смесей необходимо повышение водоцементного отношения или необходимо введение веществ, которые повысят ζ -потенциал, увеличат эффект двойного слоя, т.е. увеличат эффект отталкивания. Таким образом, введение химических добавок в составы мелкозернистых смесей для снижения количества воды, возникновения ζ -потенциала, который способствует дефлокуляции и диспергации цементных частиц и новообразований является необходимостью [10].

Ещё одной из актуальных проблем является «старение» цемента при длительном хранении. Данный вид вяжущего лучше использовать непосредственно после его изготовления. Одним из способов решения может быть домол «лежалого» цемента, потому что активность цемента возрастает при повышении его дисперсности [11-12].

Несмотря на многочисленные работы, описывающие применение микрокальцита в составах не только бетонов на цементных вяжущих, но и полимерных вяжущих [13], поиск новых решений и эффективных способов применения комплексных модификаторов [14-15] (совместного введения



тонкомолотых порошком и суперпластификаторов) продолжается.

Методология

В данной статье приведены результаты исследования возможности использования тонкомолотого мрамора в составе мелкозернистого бетона как модификатора для уплотнения структуры, повышения прочности, а также как компонента в составах на цементах с низким показателем активности.

В работе использовались следующие компоненты: цемент типа ЦЕМ I класса по прочности 32,5 нормальнотвердеющий (активность 34,0 МПа) и портландцемент длительного хранения (активность 27,2 МПа), песок природный (модуль крупности 2,2 (группа средний)), тонкомолотый мрамор (микрокальцит) и тонкомолотый известняк (микрокарбонат) (помол до остатка на сите №008 – 3,9%). Добавки ПАВ: Basf MasterGlenium 305 – суперпластификатор (раствор смеси эфиров поликарбоксилатов и модифицированных лигносульфонатов), SikaPlast – 2067LF – суперпластификатор (водная композиция модифицированных поликарбоксилатных эфиров), Полипласт ПК тип S – суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров, Basf Master Polyheed 4004 – суперпластифицирующая добавка на основе полиакриловых эфиров.

Составы мелкозернистых бетонных смесей имели соотношение Ц:П равное 1:3 с подвижностью на встряхивающем столике 170 ± 5 мм [9]. Изготавливались образцы размером $4 \times 4 \times 16$ см для испытаний, как на прочность при сжатии, так и на растяжение при изгибе. Испытания проводились в возрасте 28 суток н.у. твердения.

В ходе исследований выделим следующие основные этапы: определение влияния микрокальцита на нормальную густоту (водопотребность) цемента; выбор эффективной добавки ПАВ (суперпластификатора) по прочностным показателям мелкозернистого бетона; проведения сравнения влияния микрокальцита (тонкомолотого мрамора) и микрокарбоната (тонкомолотого известняка) на составах без добавки-суперпластификатора; выбор эффективного количества микрокальцита от массы цемента по прочностным показателям; оценка возможности использования микрокальцита в составе

мелкозернистого бетона на цементе со сниженным показателем активности в результате длительного хранения.

Результаты

На первоначальном этапе оценивалось влияние тонкомолотой добавки микрокальцита на водопотребность портландцемента (таблица 1).

Анализируя данные таблицы 1, нельзя сказать, что микрокальцит не влияет на нормальную густоту портландцемента. В данном случае нормальная густота микрокальцита, определенная по ГОСТ 310.3 для цементов составила 28,5%, что близко к нормальной густоте используемого в работе портландцемента. При работе с цементом другой величины показателя нормальной густоты, необходимо учитывать нормальную густоту микрокальцита и при необходимости рассчитывать этот параметр как средневзвешенное значение смешенного вяжущего.

Затем для определения наиболее эффективной добавки ПАВ в состав мелкозернистого бетона была проведена оценка ряда добавок-суперпластификаторов на прочностные свойства мелкозернистого бетона без введения в его состав микрокальцита. Результаты приведены в таблице 2. В ходе исследований регулировался расход воды и отформовывались равноподвижные составы [9].

На основе данных, приведенных в таблице 2, ориентируясь на значения роста прочности при сжатии, а также на «удобство» работы с бетонной смесью, для дальнейших исследований мелкозернистых бетонов с введением в состав микрокальцита была выбрана добавка Basf Master Polyheed 4004, которая при введении 0,6% от массы цемента показала увеличение прочности на растяжение при изгибе на 23 %, а прочности при сжатии на 26,9 %.

Также был произведен сравнительный анализ (таблица 3) влияния введения микронаполнителя – карбонатной муки, полученной помолком известняка, и микронаполнителя – мраморной муки (микрокальцита). Данное сравнение проводилось на составах мелкозернистого бетона без введения добавки – суперпластификатора.

Таблица 1 – Влияние введения МкК на нормальную густоту цемента

№ состава	Количество цемента, %	Количество микрокальцита, %	Нормальная густота, %	Изменения НГ от состава №1
1	100	0	28,0	0
2	95	5	28,0	0
3	90	10	28,8	+2,9
4	80	20	28,8	+2,9
5	70	30	28,0	0



Таблица 2 – Результаты определения эффективной добавки ПАВ в мелкозернистый бетон

№ состава	Количество добавки, % от массы цемента	Средняя плотность образцов, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
			на растяжение при изгибе	при сжатии
0К	0	1980	5,2	33,5
BASF Master Glenium 305				
1BG	0,4	2025	5,1	34,5
2BG	0,8	2162	5,6	35,5
3BG	1,2	2222	5,8	36,0
4BG	1,6	2240	5,7	37,6
5BG	1,9	2217	5,5	33,5
Sika Plast – 2067LF				
1S	0,2	1970	5,2	33,3
2S	0,5	2036	5,7	37,3
3S	0,8	2050	5,9	37,6
4S	1,0	2043	5,8	37,2
Полипласт ПК тип S				
1ПП	0,2	2274	5,7	34,0
2ПП	0,4	2266	5,1	39,7
3ПП	0,6	2322	5,9	39,4
4ПП	0,8	2387	5,9	39,0
BASF Master Polyheed 4004				
1BP	0,2	2272	5,4	36,6
2BP	0,4	2281	5,8	39,4
3BP	0,6	2356	6,4	42,5
4BP	0,8	2340	6,0	38,6

Таблица 3 – Влияние введения микронаполнителей на свойства мелкозернистого бетона

Количество микронаполнителя, % от массы цемента	Вид микронаполнителя			
	микрокарбонат		микрокальцит	
	средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа
0	2010	33,5	-	-
5	2226	32,6	2305	36,5
10	2215	34,8	2250	39,6
15	2202	33,9	2243	38,4
20	2194	26,4	2226	38,0
30	2050	25,4	2210	35,8

Таблица 4 – Физико-механические свойства мелкозернистых бетонов с применением микрокальцита (МкК)

Показатель	Количество МкК, % от массы цемента					
	0	5	10	15	20	30
Водоцементное отношение	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,37
Средняя плотность бетона, кг/м ³	2338	2377	2390	2355	2340	2318
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	5,8	6,1	6,6	7,3	7,0	6,8
Прочность при сжатии, МПа	39,4	44,1	48,6	48,8	44,3	41,6

Результаты таблицы 3 показывают, что микрокарбонат в количестве 10 – 15 % от массы цемента в мелкозернистом бетоне способствует повышению прочности на сжатие (приrost составил 1,2 – 3,9 %). Введение микрокальцита в количестве 5 – 30 % от массы цемента показывает рост прочности

3 – 18,5 %, по сравнению с контрольным составом. Т.е. применение тонкомолотого мрамора из-за повышенного содержания СаСО₃ эффективнее тонкомолотого известняка в данных составах бетона.

В таблице 4 приведены результаты испытаний составов мелкозернистого бетона с замещением



портландцемента микрокальцитом в количестве 5 – 30 %, при условии использования суперпластификатора Basf Master Polyheed 4004 для сокращения расхода воды и уплотнения структуры бетона. Суперпластификатор вводился в количестве равном 0,6 % от массы цемента.

Полученные данные показывают, что комплексное введение в состав мелкозернистого бетона добавки-суперпластификатора и микрокальцита дает результаты, превышающие отдельное их применение (таблицы 2 и 3). Диапазон введения микрокальцита 10 – 20 % от массы портландцемента в присутствии 0,6 % суперпластификатора дает прирост предела прочности на растяжение при изгибе 26 – 40 %, а прирост предела прочности при сжатии 32 – 45 %. Рост прочностных показателей можно объяснить более плотной структурой полученного мелкозернистого бетона, что объясняет и увеличение значения показателя средней плотности образцов.

Для более полного обоснования экономической целесообразности использования микрокальцита в мелкозернистом бетоне были проведены исследования составов мелкозернистого бетона с применением «лежалого» цемента, который потерял активность из-за длительного хранения (таблица 5). Необходимо отметить, что вид и количество добавки-суперпластификатора остались те же, что в предыдущих исследованиях. Однако, при проведении данных формовок водоцементное отношение для получения рекомендованной для мелкозернистых бетонных смесей подвижности [9] выросло на 5 – 7 %.

Таблица 5 – Результаты испытаний МЗБ на основе низкоактивного цемента с замещением микрокальцитом (МкК)

Показатель	Количество МкК, % от массы цемента			
	0	5	10	15
Водоцементное отношение, В/Ц	0,38	0,378	0,39	0,38
Средняя плотность бетона, кг/м ³	2160	2238	2296	2288
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	4,2	4,6 (+9,5%)	5,6 (+33%)	5,8 (+38%)
Прочности при сжатии, МПа	26,9	31,4 (+16,7%)	33,3 (+23,7%)	32,8 (+21,9%)

По результатам испытаний видно, что введение микрокальцита в количестве 5 – 15% от массы портландцемента позволяет достичь нормированного показателя активности цемента для этого класса, который показывало вяжущее до длительного хранения. Таким образом, тонкомолотый мрамор (микрокальцит) в комплексе с добавкой-суперпластификатором может использоваться, и как вариант повышения

прочностных показателей и снижения расхода цемента, и как добавка к низкоактивным цементам, т.е. альтернатива дополнительного помола (механоактивации).

Обсуждение

Проведенные исследования подтверждают возможность использования тонкомолотого мрамора (микрокальцита) в рецептурах мелкозернистых бетонов, как для получения более высоких прочностных показателей, сокращения расхода цемента, так и в составах на основе цемента, потерявшего свою активность при хранении. Комплекс «тонкомолотый наполнитель (микрокальцит) – суперпластификатор» позволяет получить мелкозернистый бетон более плотной структуры [5; 7], где микрокальцит уплотняет структуру цементного камня за счет образования гидрокарбоалюмината кальция, гидрокарбоната кальция и гидросульфокاربосиликата кальция, также суперпластификатор, снижая расход воды, способствует росту плотности материала и, как следствие, прочности.

В дальнейших исследованиях необходимо определить степень влияния микрокальцита в мелкозернистых бетонах на низкоактивных цементах при совместной механоактивации вяжущего и тонкомолотой добавки.

Выводы

В ходе проведенных исследований:

1. сравнительный анализ тонкомолотых добавок микрокальцита и микрокарбоната показал, что тонкомолотый известняк в количестве 10 – 15 % от массы цемента дает повышение предела прочности на сжатие, по сравнению с бездобавочным составом на 1,2 – 3,9 %, тонкомолотый мрамор в диапазоне 5 – 30 % от массы цемента – на 6 – 18,5 %, по сравнению с контрольным составом;
2. совместное введение в состав бетонной смеси суперпластификатора и микрокальцита при содержании последнего 10 – 20 % от массы цемента в присутствии 0,6 % суперпластификатора дает прирост предела прочности при сжатии 32 – 45 %;
3. введение МкК в количестве 5 – 15 % от массы портландцемента позволяет достичь нормированного показателя активности цемента для этого класса, который показывало вяжущее до длительного хранения.

Таким образом, помимо результатов повышения физико-механических свойств мелкозернистых бетонов при замещении части цемента в составах микрокальцитом, комплексное введение суперпластификатора и тонкомолотого мрамора



частично решает проблему утилизации отходов добычи и переработки горнодобывающей промышленности в рамках карбонатных горных пород, а также позволяет применение «лежалых» цемента в мелкозернистых бетонах без дополнительной механоактивации.

Библиографический список

1. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления // Экологический консалтинг. – 2008. – № 4(32). – С. 12-59. – EDN NVWJNH.
2. Журавлёв В.Ф., Штейнберг Н.П. Сцепление цементного камня с различными материалами // Цемент. 1952. №5. С. 17 – 19.
3. Михеенков, М. А. Влияние карбонатного наполнителя на свойства бетонов / М. А. Михеенков, С. А. Мамаев, И. С. Анашкин // Технологии бетонов. – 2011. – № 11-12(64-65). – С. 41-45. – EDN TKANMZ.
4. Айменов, А. Ж. Карбонатные породы как заполнители и наполнители в цементах, цементных растворах и бетонах / А. Ж. Айменов, А. Х. Халим, Я. Альвейн // Фундаментальные основы строительного материаловедения: Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, Белгород, 06–11 октября 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 775-780. – EDN YLPFMD.
5. Демьяненко, О. В. Эффективность применения микрокальцита в производстве строительных композиций на цементной основе / О. В. Демьяненко, А. А. Куликова // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2017) : Избранные доклады IV Международной научной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 25–27 октября 2017 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – С. 39-41. – EDN YQNEFP.
6. Василенко, О. Н. Влияние микрокальцита на строительно-технические свойства белого цемента / О. Н. Василенко // XI Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство" : Материалы форума, Белгород, 01–20 октября 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 1087-1092. – EDN JODETK.
7. Копаница, Н. О. Комплексные добавки на основе вторичных ресурсов для модификации цементных композиций / Н. О. Копаница, О. В. Демьяненко, А. А. Куликова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 1. – С. 136-144. – DOI 10.18799/24131830/2023/1/4045. – EDN WLUVTE.
8. Тараканов, О. В. Влияние комплексных минеральных добавок на прочность и состав гидратации цементных материалов / О. В. Тараканов, Е. А. Белякова // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4(45). – С. 46-52. – EDN DQIKYM.
9. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Ергешев Р.Б. Технология и свойства мелкозернистых бетонов. Алматы: Типография КазгосИНТИ. 2000. 196 с.
10. Влияние модифицирующих добавок на свойства тяжелого бетона / Ю. Г. Косенок, В. Д. Галдина, К. А. Косенок, В. А. Стреленко // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, 03–04 декабря 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 661-665. – EDN ZATXID.
11. Влияние времени хранения композиционных вяжущих на их активность / М. С. Агеева, С. В. Шаталова, Т. А. Головина [и др.] // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды : сборник докладов международной научно-технической конференции, Белгород, 24–25 ноября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том III. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 3-10. – EDN VWIQYX.
12. Панченко, А. И. Влияние способа активации портландцемента на свойства цементного камня и мелкозернистого бетона / А. И. Панченко, М. А. Абрамов, А. О. Мурашов // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 2(70). – С. 47-55. – DOI 10.36622/VSTU.2023.70.2.004. – EDN OAJNSO.
13. Чернов, А. Н. Исследование совместной работы наполненных микрокальцитом полимерных покрытий с бетонными основаниями / А. Н. Чернов, Т. А. Низина, Д. Р. Низин // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2020. – № 1. – С. 710-713. – EDN EUOJND.
14. Разработка высокопрочного порошково-активированного бетона с улучшенными



показателями биологического сопротивления /
Д. В. Емельянов, И. В. Ерофеева, А. В. Дергунова
[и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2021. – №
5(14). – С. 27-33. – DOI
10.51608/26867818_2021_5_27. – EDN YHPDNS.

15. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С.
Новые модифицированные бетоны. М.: ООО
«Типография «Парадиз». 2010. 258 с.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 14.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья
УДК 691.327.333
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
DOI 10.51608/26867818_2024_3_34

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИМИ СИЛИКАТНЫМИ ДОБАВКАМИ

© Авторы 2024
SPIN-код: 1884-3081
Scopus ID: 57191249572

БАРТЕНЬЕВА Екатерина Анатольевна
кандидат технических наук
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
(Россия, Новосибирск, e-mail: e.bartenyeva@sibstrin.ru)

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

ИЛЬИНА Лилия Владимировна
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

Аннотация. Проведено исследование структурообразования цементно-золяного пенобетона естественного твердения, модифицированного кальцийсодержащими силикатными добавками – диопсидом и волластонитом. В пенобетонах с добавками диопсида и волластонита сохраняется прочность при сжатии и снижается средняя плотность материала за счет дополнительного воздухововлечения до 274 кг/м³ и 375 кг/м³ соответственно, уменьшаются усадочные деформации на 23 % (при введении диопсида) и на 35 % (при введении волластонита). Установлено, что при введении волластонита и диопсида происходит более полная гидратация цементного камня. Данные минеральные добавки, обладая химическим сродством к продуктам гидратации портландцемента, активизируют процессы кристаллизации продуктов его гидратации.

Ключевые слова: неавтоклавный цементно-золяный пенобетон; волластонит; диопсид; усадочные деформации; минеральные добавки; зола-унос; строительные материалы

Для цитирования: Особенности структурообразования ячеистого бетона с кальцийсодержащими силикатными добавками / Е.А. Бартеньева, Л.В. Ильина // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 34-40. doi: 10.51608/26867818_2024_3_34

Original article

FEATURES OF THE STRUCTURE FORMATION OF CELLULAR CONCRETE WITH CALCIUM-CONTAINING SILICATE ADDITIVES

© The Author(s) 2024

BARTENJEVA Ekaterina Anatol'evna
candidate of Technical Sciences
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: e.bartenyeva@sibstrin.ru)

ILINA Liliia Vladimirovna
doctor of technical sciences, professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: nsklika@mail.ru)

Abstract. The study of the structure formation of cement-ash foam concrete of natural hardening modified with calcium-containing silicate dispersed additives of chain structure – diopside and wollastonite. In foam concrete with additives of diopside and wollastonite, compressive strength is maintained and the average density of the material decreases due to additional air entrainment to 274 kg/m³ and 375 kg/m³, respectively, shrinkage deformations are reduced by 23% (with the introduction of diopside) and by 35% (with the introduction of wollastonite). It was found that with the introduction

of wollastonite and diopside, a more complete hydration of the cement stone occurs. These mineral additives, having a high chemical affinity for the hydration products of Portland cement, activate the crystallization processes of its hydration products.

Keywords: Non-autoclave cement-ash foam concrete; wollastonite; diopside; shrinkage deformations; mineral supplements; fly ash; building materials

For citation: Features of the structure formation of cellular concrete with calcium-containing silicate additives / E.A. Bartenjeva, L.V. Ilyina // Expert: theory and practice. 2024. No. 3 (26). p. 34-40. doi 10.51608/26867818_2024_3_34

Введение

Увеличение объемов малоэтажного домостроения, ужесточение требований к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций зданий и сооружений привело к развитию производства пенобетона. Данный материал используется в качестве теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного. Одной из основных проблем неавтоклавного пенобетона выделяют усадочные деформации, особенно для низких значений плотности материала, т.к. при этом все больше проявляется нестабильность пенной структуры [1-3]. Выявление особенностей структурообразования и разработка технологических основ уменьшения усадочных деформаций теплоизоляционного пенобетона естественного твердения являются актуальными.

Для снижения усадочных деформаций за счет микроармирования в технологии пенобетона многие исследователи используют волокнистые добавки [4-6]. Авторским коллективом предлагается синтез низкоосновных гидросиликатов при использовании дегидратированного цитрата натрия и расширяющегося сульфоалюминатного модификатора [7]. За счет ускоренного роста игольчатых гидросиликатов кальция увеличивается прочность и трещиностойкость материала, компенсируется усадка. Исследованием использования добавок, предотвращающих сближение параллельно расположенных поверхностей новообразований за счет электроповерхностных взаимодействий с функциональной группой, таких как лимонная и сульфаниловая кислота, установлено, что усадка пенобетона снижается до 76 % за 60 суток [8].

Для активирования цемента в технологии тяжелого бетона ранее успешно использовали кальцийсодержащие силикатные минеральные добавки: волластонит, диопсид [9-10]. Известно, что при твердении новые соединения образуются под влиянием «достаточно сильного» адсорбционного поля волластонита, что оказывает влияние на процессы гидратации [11]. Использование таких минеральных добавок благоприятно сказывается на прочности цементных композитов и их морозостойкости [12-13]. В составах щебеночно-мастичных асфальтобетонов волластонит применяют в качестве армирующей и

стабилизирующей добавки, при этом растет прочность материала и устойчивость к расслаиванию [14]. В технологии пеносиликатов использование дисперсного диопсида увеличивает прочность и способствует образованию мелкопористой структуры [15]. Диопсид, обладающий высокой твердостью, успешно применяют для повышения прочности, износостойкости эпоксидных полимеров [16].



Рисунок 1. Электронная микрофотография волластонита (100-кратное увеличение)

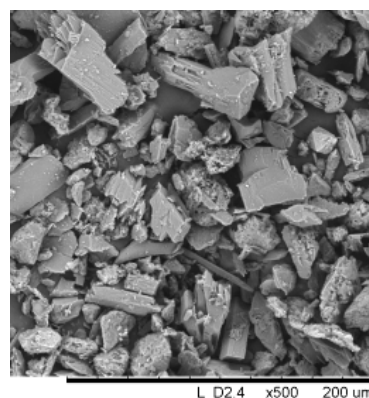


Рисунок 2. Электронная микрофотография диопсида (500-кратное увеличение)

Таким образом, предполагается, что добавки волластонита ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) и диопсида ($(\text{Ca}, \text{MgO}) \cdot 2\text{SiO}_2$), которые имеют сродство к основным клинкерным минералам и продуктам их гидратации, будут оказывать влияние на гидратацию портландцемента в технологии пенобетона.

Материалы и методы исследования



Для приготовления пенобетона использовался турбулентный пенобетоносмеситель при 1350 об/мин, применялась двухстадийная технология. Соотношение кремнеземистый наполнитель/цемент составляло 0,6 и оставалось постоянным для всех составов пенобетона; водотвердое отношение – 0,49. Добавки вводились в сухую смесь в количестве 1%.

В качестве сырьевых материалов применялись: портландцемент производства «Искитимцемент» класса ЦЕМ I 42,5Н. В качестве кремнеземистого компонента использована кислая зола-унос от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна (г. Новосибирск). Ее истинная плотность 1870 кг/м³, степень пуццоланической активности (ГОСТ Р 56593-2015) – 53 мг/г, удельная поверхность золы – 260 м²/кг. Материал представляет собой в основном сферические частицы с гладкой поверхностью. Что должно способствовать сохранению структуры пены, а также уменьшению теплопроводности пенобетона. Для исследования был выбран белковый (Foamcem) пенообразователь.

В качестве минеральных добавок использовались природные аналоги клинкерных минералов:

1. волластонит (Чойский район Республики Алтай) с истинной плотностью 2455 кг/м³, химическим составом, мас. %: SiO₂ – 46,1; CaO – 45,12; MgO – 0,9; Fe₂O₃ – 4,44; Al₂O₃ – 2,93. Размеры частиц не превышают 500 мкм, основная масса которых находится в пределах 80-250 мкм, удельная поверхность – 90 м²/кг. По форме волластонит в большей степени представлен игольчатыми, продолговатыми частицами (рис. 1), которые будут участвовать в армировании межпоровых перегородок. Минералогический состав добавки, % мас.: кальцит – 6,1, волластонит – 87, кварц – 4,2, гранат – 2,8, пирит – 0,9.

2. диопсид (Слюдянский район Иркутской области) с истинной плотностью 2778 кг/м³, химическим составом, мас. %: SiO₂ – 51,33; MgO – 20,01; CaO – 25,03; Fe₂O₃ – 0,84; K₂O – 0,17; Al₂O₃ – 1,88. Минералогический состав, % мас.: тремолит – 19, диопсид – 76, кварц – 2, шпинель – 2. Максимальный размер диопсида 300 мкм, основная масса частиц представлена частицами 50-150 мкм, удельная поверхность – 120 м²/кг. За счет микродефектов на поверхности должна обеспечиваться более высокая прочность сцепления частиц диопсида с цементным камнем (рис. 2).

Пластическая усадка пенобетонной смеси измерялась способом, предлагаемым А.Б. Стешенко и А.И. Кудяковым [17]. Определение усадки при высыхании проводилось в соответствии с ГОСТ 25485. При помощи измерителя теплопроводности ИТП-МГ 4 «Зонд» измеряли коэффициент теплопроводности пенобетона (ГОСТ 30256).

Минералогический состав сырья и пенобетона определялся на рентгеновском дифрактометре D8 Advance с используемым излучением CuKα. Расшифровка рентгенограмм проводилась с помощью материалов [18]. Морфология добавок и микроструктура готовых материалов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе Hitachi

TM 1000. Термоаналитический эксперимент проводился на термоанализаторе синхронном STA 449 F1 Jupiter NETZSCH GmbH (проток газа аргона высокой чистоты 50 мл/мин, скорость нагрева 10°C/мин).

Рентгеноструктурный, дифференциально-термический анализы, электронная микроскопия проводились в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН.

Результаты и обсуждение

Физико-механические свойства неавтоклавного пенобетона с минеральными добавками представлены в таблице 1.

Применение диопсида и волластонита приводит к снижению усадки при высыхании на 23 и 34% и пластической усадки пенобетонной смеси на 16 и 21% соответственно. Добавка волластонита увеличивает коэффициент конструктивного качества (ККК) цементно-зольного пенобетона, при использовании диопсида ККК несколько меньше, чем для контрольного состава.

Таблица 1. Физико-механические характеристики пенобетона

Показатели	Вид добавки		
	Волластонит	Диопсид	Контрольный
Средняя плотность, кг/м ³	375,0	274,0	547,0
Прочность на сжатие, МПа	1,0	0,6	1,2
Коэффициент конструктивного качества	2,7	2,1	2,2
Усадка при высыхании, мм/м	1,7	2,0	2,6
Усадка пластическая, мм/м	5,7	6,1	7,2
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°C)	0,070	0,069	0,122

Можно отметить, что средняя плотность и теплопроводность материала уменьшается при введении минеральных добавок в сухую смесь при изготовлении пенобетона (табл. 1). При двухстадийной технологии использование дисперсных волластонита и диопсида приводит к дополнительному вовлечению воздуха на 14-20 % [19].

За счет своей высокой адсорбционной способности к продуктам гидратации цемента волластонит и диопсид активизируют процессы химического взаимодействия. По результатам анализа на рентгенограммах фиксируются пики

CaCO₃ (0.3860, 0.2880, 0.2500, 0.2290, 0.2210, 0.1910, 0.1880) нм, Ca(OH)₂ (0.4920, 0.3110, 0.3040, 0.2630, 0.1920, 0.1800) нм, Ca₂SiO₄ (0.2780, 0.2060, 0.1980, 0.1620) нм, β-кварц SiO₂ (0.3350, 0.4270, 0.1820, 0.1370) нм, C₆S₆H (0.7100, 0.3600, 0.3030, 0.2033, 0.1950) нм, C₃AN₆ (0.2230, 0.2260, 0.3360, 0.1680) нм, C₂SH(II) (0.3040, 0.1920, 0.1790) нм,

CSH(I) (0.3040, 0.2790, 0.1810, 0.1670) нм. Наибольшая интенсивность гидроксида кальция $cd/n = 0.4920$ нм принадлежит пенобетону с добавкой волластонита, что подтверждает большую степень гидратации цемента (рис. 2). Присутствие диопсида способствует образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция, что соответствует увеличению интенсивности линии $cd/n = 0.3040$ нм и уменьшению интенсивности линии $cd/n = 0.4920$ нм.

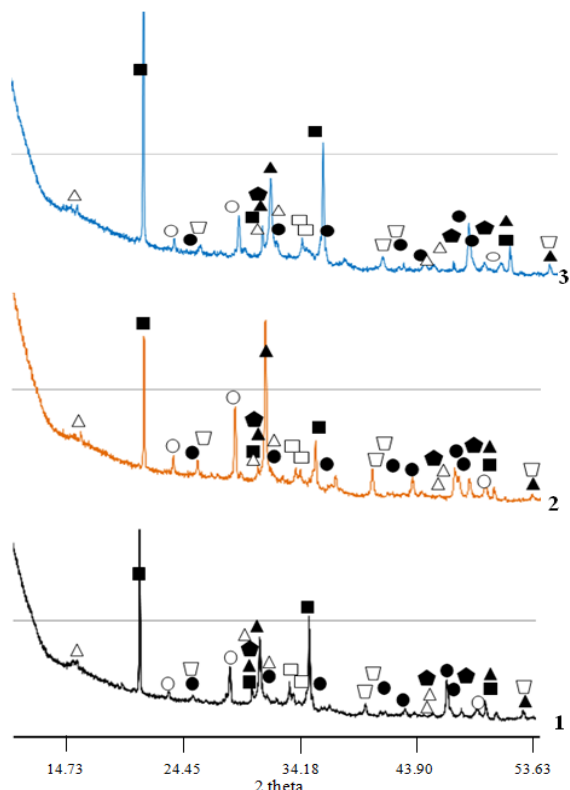


Рисунок 3. Рентгенограммы пенобетона с добавкой: 1 – без добавок, 2 – диопсида, 3 – волластонита. Обозначения: ● – CaCO_3 , ○ – Ca(OH)_2 , △ – $\beta\text{-SiO}_2$, □ – $\text{C}_6\text{S}_6\text{H}$, ▢ – C_3AH_6 , ◆ – $\text{C}_2\text{SH(II)}$, ▲ – CSH(I) , □ – C_2S

Термогравиметрический анализ также свидетельствует о более глубокой гидратации цемента в присутствии добавок (рис. 4). Определены наибольшие потери массы при нагреве для образцов пенобетона с волластонитом и диопсидом (табл. 2).

На кривых дифференциально-термического анализа регистрируются три эндоэффекта, характерные для всех образцов пенобетона (рис. 4). Размытый эндоэффект, полученный при температурах 100-157 °C, свидетельствует об удалении слабосвязанной воды, находящейся в порах, или адсорбированной на поверхности твердых минеральных частиц. К этим температурам также относится разложение гидратных новообразований. Острый характер второго и третьего пиков констатирует об удалении химически связанной воды в структуре минеральных фаз. Второй

эндоэффект соответствует разложению портландита Ca(OH)_2 . Эндоэффекты в области 454-502 °C и 730-757 °C принадлежат к ступенчатой дегидратации гидросиликатов кальция.

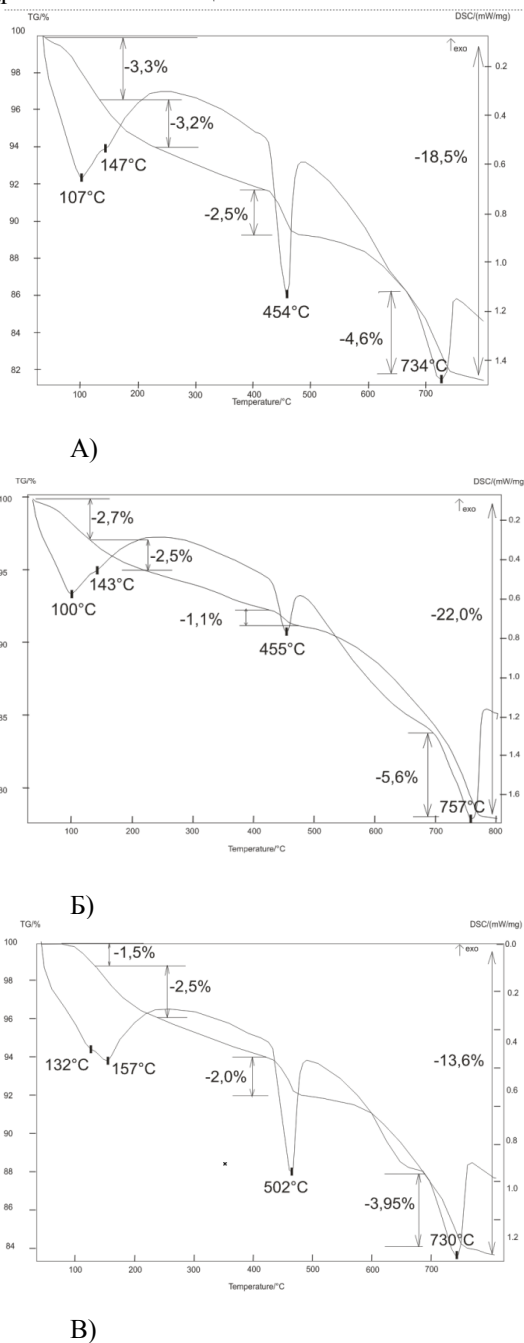
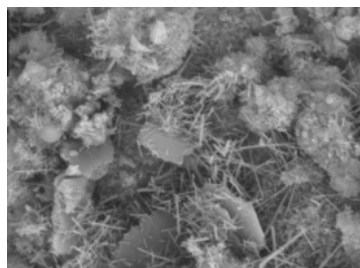


Рисунок 4. Термогравиметрический анализ проб пенобетона: а – с добавкой волластонита, б – с добавкой диопсида, в – контрольный образец

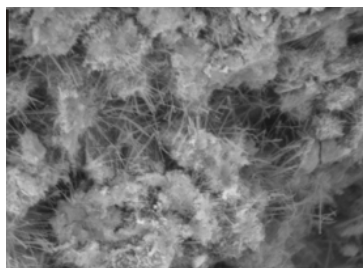
Анализ вышеописанных исследований позволяет предположить, что волластонит и диопсид являются подложками для новообразований. Что подтверждается результатами физико-химических исследований и объясняет их структурно-модифицирующий механизм.

Таблица 2. Термические эффекты и изменение массы пенобетона по результатам термического анализа

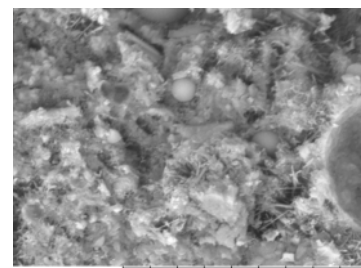
Добавки	Общая потеря массы, %	I		II		III	
		T, °C	Δm , %	T, °C	Δm , %	T, °C	Δm , %
Волластонит	18,50	107	3,30	147	3,20	454	2,50
Диопсид	22,00	100	2,70	143	2,50	455	1,10
Контрольный образец	13,60	132	1,50	157	2,50	502	2,00



а



б



в

Рисунок 5. Микроструктура пенобетона а – с волластонитом, б – с диопсидом, в – без добавок (3000-кратное увеличение)

На электронных снимках пенобетона с минеральными добавками обнаруживаются игольчатые кристаллы гидросиликатов кальция, которые принимают участие в микроармировании межпорowych перегородок пенобетона (рис. 5).

Таким образом, в технологии неавтоклавного цементно-зольного пенобетона можно снизить усадку при введении кальцийсодержащих силикатных минеральных добавок.

Исследуемые минеральные добавки работают как структурно-модифицирующие центры кристаллизации, что обеспечивает более глубокую гидратацию цементного камня. При этом сохраняется оптимальная пористая структура, а также уменьшаются усадочные деформации в теплоизоляционном пенобетоне.

Заключение

На основе результатов проведенной работы можно констатировать:

1. Применение дисперсных добавок диопсида и волластонита в количестве 1 мас. % от портландцемента позволяет снизить усадочные деформации на 23-35 % соответственно теплоизоляционного цементно-зольного неавтоклавного пенобетона.
2. Результаты термического и рентгенофазового анализов подтвердили более глубокую гидратацию цемента при введении волластонита и диопсида.
3. По данным сканирующей электронной микроскопии в пенобетоне с добавками присутствуют игольчатые гидросиликаты кальция, участвующие в микроармировании межпорowych перегородок.

Библиографический список

1. Винокурова, О. В. О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона / О. В.

Винокурова, А. А. Баранова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2021. – Т. 11, № 3(38). – С. 432-439. – DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-432-439. – EDN UKTOPG.

2. Патент № 2713291 С1 Российская Федерация, МПК C04B 38/10, C04B 38/08. сырьевая смесь для пенобетона : № 2019120292 : заявл. 27.06.2019 : опубл. 04.02.2020 / Л. Б. Сватовская, В. Я. Соловьева, И. В. Степанова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".
4. Патент № 2802407 С2 Российская Федерация, МПК C04B 28/04, C04B 38/00, C04B 38/10. Формовочная смесь для приготовления пенобетонов : № 2022122931 : заявл. 25.08.2022 : опубл. 28.08.2023 / А. Я. Аболтынь, И. А. Аболтынь, Е. А. Заходякина, Д. Ф. Габидуллин.
5. Суворов, И. О. Влияние дисперсного полиармирования на усадочные деформации фибропенобетона неавтоклавного твердения / И. О. Суворов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 1. – С. 32-35. – EDN TGGNCD.
6. Моргун, Л. В. Сравнительный анализ усадочной деформативности пенобетонов / Л. В. Моргун, М. Ю. Вишневская // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года / Под редакцией С.И. Меркулова. – Курск: Закрытое акционерное общество



- "Университетская книга", 2020. – С. 30-36. – EDN SVGTAK.
7. Стешенко, А. Б. Управление технологическими процессами для обеспечения качества пенобетона неавтоклавного твердения / А. Б. Стешенко, А. И. Кудяков. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 156 с. – ISBN 978-5-93057-972-7. – EDN CTCJFZ.
8. Компенсация усадки пенобетона / С. Н. Леонович, Д. В. Свиридов, Г. Л. Щукин [и др.] // Строительные материалы. – 2015. – № 3. – С. 3-7. – EDN TLRUQL.
9. Рахимбаев, Ш. М. Теоретические основы поиска новых добавок, снижающих усадку цементных систем / Ш. М. Рахимбаев, Т. В. Аниканова, А. С. Погромский // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2021. – № 57(83). – С. 34-38. – DOI 10.36807/1998-9849-2021-57-83-34-38. – EDN DEUHFC.
10. Ильина, Л. В. Влияние комплексных дисперсных минеральных добавок на прочность цементного камня / Л. В. Ильина, Г. И. Бердов, Н. О. Гичко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 1(697). – С. 38-44. – EDN YRJJWX.
11. Бердов, Г. И. Повышение прочности портландцементного камня при введении минеральных добавок / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина // Сухие строительные смеси. – 2017. – № 6. – С. 40-42. – EDN YMFSNU.
12. Бердов, Г. И. Влияние волластонита на прочность цементного камня из длительно хранившегося портландцемента / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина, Н. А. Машкин // Строительные материалы. – 2011. – № 1. – С. 48-49. – EDN NQUAAP.
13. Бердов, Г. И. Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ / Г. И. Бердов, Н. А. Машкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 4(676). – С. 45-57. – EDN TZZVFI.
14. О классификации активных минеральных добавок и новом направлении переработки строительных отходов / Г. И. Овчаренко, А. В. Викторов, А. В. Песоцкий [и др.] // Эффективные строительные композиты : Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича, Белгород, 02–03 апреля 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 483-491. – EDN UDAOWF.14. Хасанов Н.М. Применение природного волластонита в качестве армирующей и стабилизирующей добавки в составе ЦМА// Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3. С. 181-186.
15. Манакова, Н. К. Влияние диопсида на свойства пеносиликатов из техногенного сырья / Н. К. Манакова, О. В. Суворова // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии : тезисы докладов в пяти томах, Екатеринбург, 26–30 сентября 2016 года / Уральское отделение Российской академии наук. Том 2b. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2016. – С. 328. – EDN XVCUHL.
16. Диопсид как наполнитель эпоксидных полимеров / И. Д. Твердов, Е. М. Готлиб, Р. Ш. Нцуму, Е. С. Ямалеева // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 4(50). – С. 11-15. – DOI 10.25699/SSSB.2023.50.4.017. – EDN JYNKJY.
17. Стешенко, А. Б. Раннее структурообразование пенобетонной смеси с модифицирующей добавкой / А. Б. Стешенко, А. И. Кудяков // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 2(54). – С. 56-62. – DOI 10.5862/MCE.54.6. – EDN TMJQPN.
18. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. – М.: Государственное научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр, 1957. – 867с.
19. Бартеньева, Е. А. Цементно-зольный теплоизоляционный пенобетон с дисперсными добавками волластонита и диопсида : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бартеньева Екатерина Анатольевна. – Улан-Удэ, 2021. – 23 с. – EDN TBIONL.



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

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

DOI 10.51608/26867818_2024_3_41

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОСНОВАНИИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕЁ УСТОЙЧИВОСТИ

© Авторы 2024

SPIN: 2361-7889

ORCID 0000-0003-1520-800X

ДОЛГАЧЁВ Михаил Владимирович

кандидат технических наук, доцент ВШ ПГС

Тихоокеанский государственный университет

(Россия, Хабаровск, e-mail: bearsgod@pnu.edu.ru)

SPIN: 6958-6051

ORCID 0000-0001-6762-5476

ПОПОВ Александр Николаевич

старший преподаватель ВШ ПГС

Тихоокеанский государственный университет

(Россия, Хабаровск, e-mail: sanyapov@mail.ru)

Аннотация. В работе исследуется гравитационная подпорная стенка консольного типа с вертикальной лицевой стороной и наклонной тыльной гранью. Выполнен анализ на сдвиг и давление грунта на подпорную стенку с учетом одностороннего взаимодействия с основанием. Исследование сфокусировано на изучении величины равнодействующих нормальных и касательных контактных напряжений в основании стенки. Определены рациональные параметры длины основания консольной подпорной стенки со стороны активного давления грунта для обеспечения устойчивости конструкции. Также выявлен момент, когда конструкция становится геометрически изменяемой системой. Для численного моделирования использован метод конечных элементов (МКЭ), при этом задача одностороннего контакта с трением решается в виде линейной задачи дополненности (ЛЗД). Представлены распределения контактных усилий в основании стенки и зависимости устойчивости конструкции от длины её основания.

Ключевые слова: метод конечных элементов; подпорная стенка; линейная задача дополненности; односторонний контакт; контакт с трением; напряжения; устойчивость; рациональные параметры

Для цитирования: Контактные напряжения в основании подпорной стенки при определении её устойчивости / М.В. Долгачёв, А.Н. Попов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 41-47. doi 10.51608/26867818_2024_3_41

Original article

CONTACT STRESSES IN THE FOUNDATION OF A RETAINING WALL WHEN DETERMINING ITS STABILITY

© The Author(s) 2024

DOLGACHEV Mikhail Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Pacific National University

(Russia, Khabarovsk, e-mail: bearsgod@pnu.edu.ru)

POPOV Aleksandr Nikolaevich

Senior Lecturer

Pacific National University

(Russia, Khabarovsk, e-mail: sanyapov@mail.ru)

Abstract. This paper investigates a gravity retaining wall of cantilever type with a vertical front face and an inclined rear face. An analysis of shear and soil pressure on the retaining wall is performed, considering one-sided interaction with the



foundation. The study focuses on examining the magnitudes of the resultant normal and tangential contact stresses in the foundation of the wall. Optimal parameters for the length of the cantilever retaining wall foundation on the active soil pressure side are determined to ensure structural stability. The moment when the structure becomes a geometrically changeable system is also identified. The finite element method (FEM) is used for numerical modeling, solving the unilateral contact with friction as a linear complementarity problem (LCP). Distributions of contact forces in the foundation of the wall and the dependencies of structural stability on the foundation length are presented.

Keywords: finite element method; retaining wall; linear complementarity problem; unilateral contact; frictional contact; stresses; stability; optimal parameters

For citation: Dolgachev M.V., Popov A.N. Contact stresses in the foundation of a retaining wall when determining its stability // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 41-47 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_41

Введение

Подпорная стенка – сооружение, предназначенное для удержания грунта от оползания и обеспечения стабильности территории. В контексте строительной механики, подпорные стенки играют ключевую роль в предотвращении деформаций откосов и сохранении целостности земляных масс.

С точки зрения инженерной функциональности, подпорные стенки могут быть классифицированы как укрепительные и декоративные. Укрепительные стенки предназначены для поддержания стабильности грунтовых масс и предотвращения оползней, в то время как декоративные стенки служат скорее эстетическим целям. Укрепительные подпорные стенки используются в строительстве для создания террасированных склонов и увеличения полезной площади для размещения объектов. Они обеспечивают эффективное использование неровного рельефа и предотвращают эрозию почвы, что существенно важно для жилищного строительства и аграрной деятельности.

Исследования российских учёных в области расчёта подпорных стенок известны с работы В. И. Лопанова в 1937 году [1], где были предложены методы определения размеров стенок. Н. К. Снитко [2] внёс значительный вклад в изучение статического и динамического давления грунтов. Ф. М. Шихиев и П. И. Яковлев [3] исследовали активное давление разнослойной засыпки, а Яковлев [4] также изучал способы уменьшения этого давления. Г. К. Клейн [5] систематизировал методы расчёта, а З. В. Цагарели в 1969 году [6] предложил новые облегчённые конструкции. Важные исследования были проведены И. П. Прокофьевым [7] по давлению сыпучих материалов и А. М. Сахновским [8] по давлению несвязного грунта. О. Л. Рудых [9] применил метод конечных элементов для расчёта давления засыпки, что стало важным шагом в использовании компьютерного моделирования.

При расчёте подпорных стенок авторы часто рассматривают задачи выбора рациональных параметров [10-15] для минимизации стоимости или времени возведения. Среди работ присутствуют как аналитические подходы к расчёту подпорных стенок [10-12; 15], так и численные [13-14]. Существуют требования и рекомендации по расчёту

подпорных сооружений, изложенные в нормативном документе СП 381.1325800.2018 «Сооружения подпорные» и выпускаются книги [11].

При расчётах подпорных стенок авторы сосредотачиваются на учёте совместной работы с грунтом [10]; указывают на несовершенства расчётов в нормативных документах и приводят рекомендации по их улучшению [12]; решают задачу поиска рациональных параметров, для повышения устойчивости и прочности конструкции [13-15]. Работы зарубежных авторов чаще всего сосредоточены на численном моделировании и поиске рациональных параметров для подпорной стенки [13-14].

Предлагается определить рациональный размер основания подпорной стенки с учётом её одностороннего взаимодействия с грунтовым основанием. В связи с выбранным исследованием сформулированы следующие цели:

- Протестировать алгоритм расчёта контактной задачи на примере подпорной стенки при определении её устойчивости
- Предложить рекомендации по расчёту подобных подпорных стенок.
- Задачи:
- Создать численную модель подпорной стенки и взаимодействующего с ней грунта с учетом одностороннего взаимодействия.
- Обосновать и выбрать метод расчета, подходящий для анализа устойчивости подпорной стенки с учетом заданных условий.
- Разработать и реализовать способ моделирования одностороннего взаимодействия стенки с грунтом в рамках выбранного метода расчета.
- Провести серию расчетов с изменением длины основания подпорной стенки. Построить графики зависимости ключевых параметров устойчивости от длины основания.
- На основе результатов исследования сформулировать выводы о влиянии длины основания на устойчивость подпорной стенки. Разработать практические рекомендации по расчету и проектированию подобных конструкций.

Методология

Проблема поиска рациональных параметров конструкции очень комплексна. Предлагается рассмотреть задачу поиска рациональной длины основания угловой подпорной стенки (рис. 1). Все размеры на расчетной схеме указаны в метрах, величины поверхностных нагрузок – в МПа. Учитывались: q_x и q_y – горизонтальное и вертикальное давление засыпки на боковые поверхности стенки; q_{gr} – вертикальная пригрузка весом грунта засыпки; q_n и q_t – нагрузка по верхнему торцу фрагмента, передаваемая отсеченной частью конструкции; собственный вес фрагмента.

Модули упругости бетона и скального основания равны соответственно $E_b = 26500$ МПа, $E_o = 20000$ МПа; коэффициенты Пуассона – $\nu_b = 0.15$, $\nu_o = 0.2$; объемный вес бетона – 24 кН/м³, коэффициент трения $f = 0.5$. Объемный вес скального основания в число нагрузок не входил.

В качестве переменного параметра рассматривается длина L_3 . В силу большой протяженности подпорной стенки рассматривается

задача плоской деформации. Подпорная стенка, и грунт-основание моделируются с помощью МКЭ с использованием четырех узлового элемента плоской задачи теории упругости (рис. 2, а). Активное давление грунта (от удерживаемой насыпи) моделируется нагрузкой. Размеры грунта-основания выбирались таким образом, чтобы условия описания не влияли на результаты решения в области контакта подпорной стенки с грунтом. Для грунта-основания узлы боковых граней закреплены от смещения по горизонтали, для нижней грани узлы закреплены от смещения по горизонтали и по вертикали (рис. 2, б). Допускаем, что грунт не работает на растяжение ввиду малого интервала деформирования, таким образом, учитывается одностороннее взаимодействие подпорной стенки и грунтом-основанием. Задача одностороннего взаимодействия ставится в виде ЛЗД [7], таким образом можно учесть возможность отрыва или проскальзывания подпорной стенки по грунту-основанию.

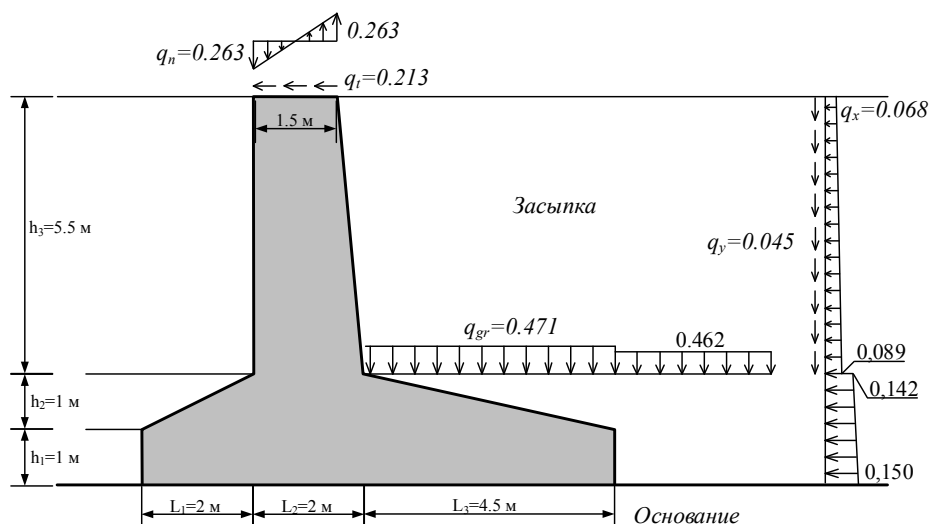


Рис. 1. Расчётная схема подпорной стенки

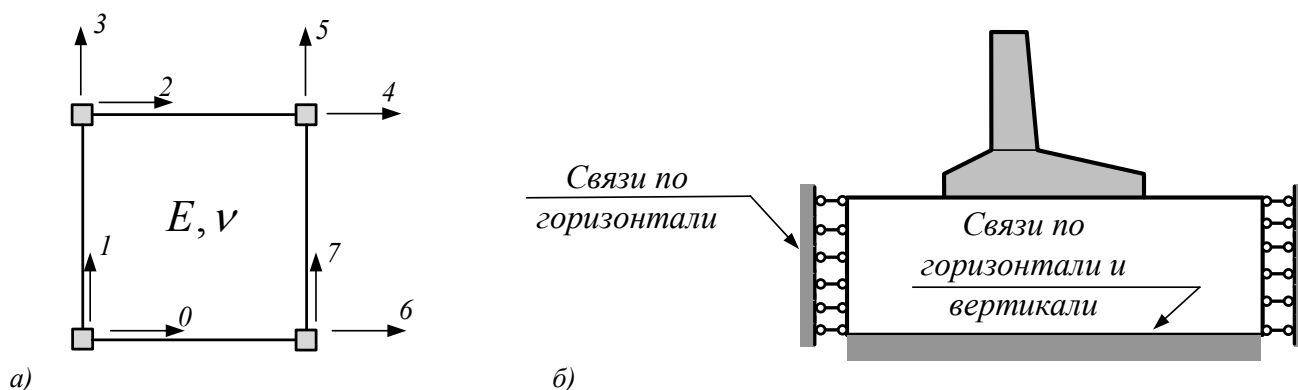


Рис. 2. Четырёх узловой элемент плоской задачи теории упругости

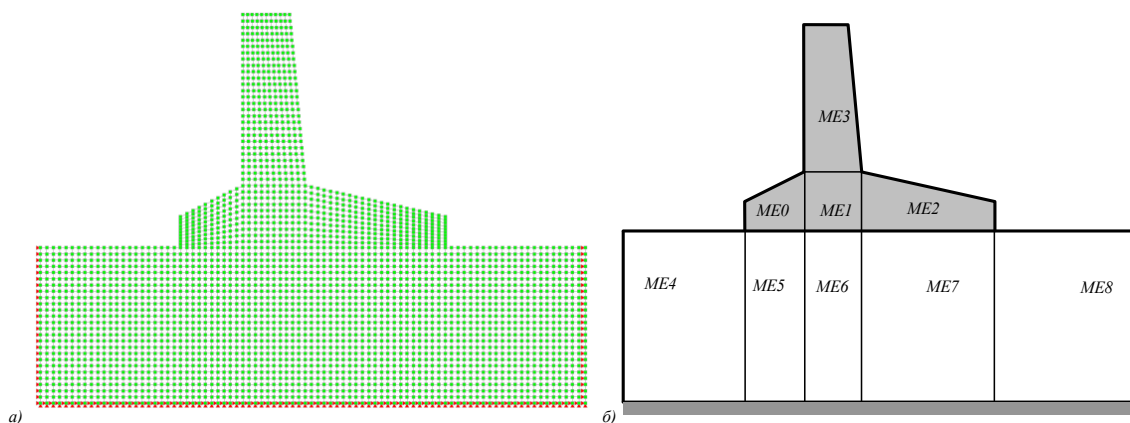


Рис. 3. Макроэлементы и сетка КЭ

Для решения задачи разработана программа на языке Python и написан генератор сетки конечных элементов (КЭ) (рис. 3, б). Область задачи разбивалась на макроэлементы (MEi). Таким образом автоматизировался процесс создания согласованной сетки КЭ в системе. На рис. 3, а представлена сгенерированная сетка КЭ.

Согласованная сетка КЭ необходима для простоты постановки задачи в виде ЛЗД. ЛЗД представляет собой систему уравнений и неравенств вида:

$$\mathbf{x} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{z} + \mathbf{R}_F;$$

$$\mathbf{z} \geq 0; \mathbf{x} \geq 0; \mathbf{z}^T \cdot \mathbf{x} = 0,$$

где $\mathbf{R}$ – контактная матрица жёсткости;

$\mathbf{R}_F$ – контактный грузовой вектор;

$\mathbf{z}$ – вектор взаимных перемещений точек контактных пар;

$\mathbf{x}$ – вектор усилий взаимодействия точек контактных пар.

Решением ЛЗД является нахождение пары неотрицательных векторов. После получения взаимных перемещений и усилий взаимодействия можно восстановить напряжённо-деформированное состояние системы. Особенность данной постановки контактной задачи с трением такова, что она позволяет решать задачи, даже если одно из тел способно перемещаться без деформирования (не имеет собственных опор), в данном случае это объект подпорной стенки. В качестве закона трения используется закон трения Кулона. Таким образом, для подпорной стенки возможно линейное и угловое смещение. При линейном смещении подпорная стенка соскальзывает по основанию, и перемещения становятся неопределимы (силы трения предельны по всей области контакта). При угловом смещении подпорная стенка теряет своё устойчивое положение и опрокидывается (силы трения допредельны в области контакта).

Для изучения поведения конструкции вводится безразмерный параметр $\varepsilon = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{L_2 + L_3} = \frac{h}{L}$ (см.

рис. 1) как отношение высоты подпорной стенки к её длине. И рассчитывается запас горизонтальной σ_h и вертикальной σ_v составляющей напряжений

в области контакта, которые способна выдержать подпорная стенка, не достигая состояния предельного равновесия системы (конструкция не способна сопротивляться внешним воздействиям). Для расчёта вертикальной составляющей используется сумма всех компонент вектора нормальных напряжений для правой части подпорной стенки:

$$\sigma_v = \sum x_{ni}^r / A,$$

где: x_{ni}^r – усилие взаимодействия по нормали в i контактной паре точек на правой части подпорной стенки; A – площадь, на которую производится расчётное усилие x_n^r .

Для расчёта запаса устойчивости по горизонтали (от скольжения) рассчитывается сумма всех компонент вектора касательных напряжений, как разность предельных сил трения и касательных усилий взаимодействия:

$$\sigma_h = \sum ((x_{ni} \cdot f - x_{ti}) / A)$$

где: x_{ti} – усилие взаимодействия в контактной паре i по касательной к зоне контакта;

A – площадь, на которую приходится расчётное усилие x_t ;

x_{ni} – усилие взаимодействия по нормали к зоне контакта;

f – коэффициент трения.

Узлы правой части подпорной стенки берутся в зоне $L_2 + L_3$. Таким образом, получаем два параметра: σ_v – отвечающий за опрокидывание подпорной стенки, если $\sigma_v = 0$; σ_h – отвечающий за проскальзывание подпорной стенки по основанию, если $\sigma_h = 0$.

Результаты

Параметр L_3 изменяется в диапазоне от 8 до 1.5 м. На рис. 4 представлены случаи для длины L_3 равной 7, 5 и 3 м.

Результатом решения ЛЗД являются контактные усилия взаимодействия и взаимные

перемещения по нормали x_n, z_n и по касательной x_t, z_t к зоне контакта (рис. 5).

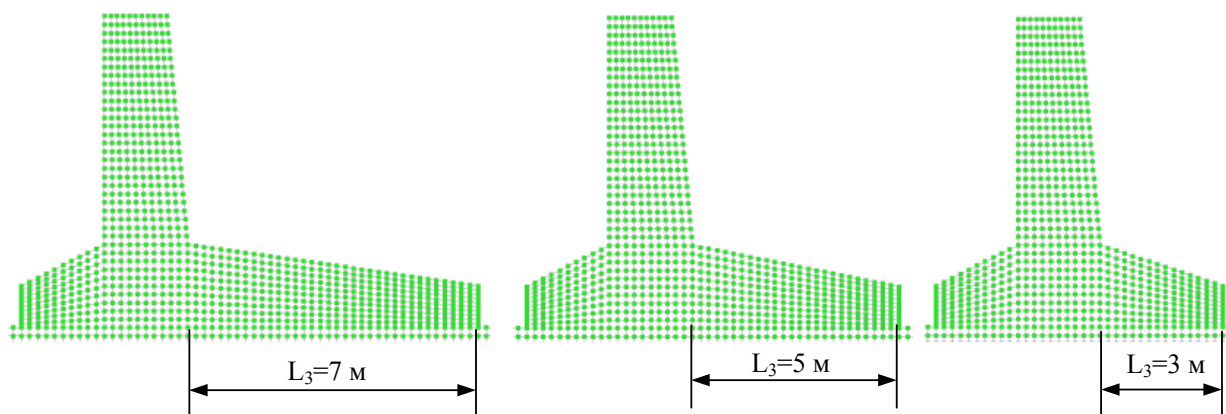


Рис. 4. Сетка КЭ для схем подпорной стенки

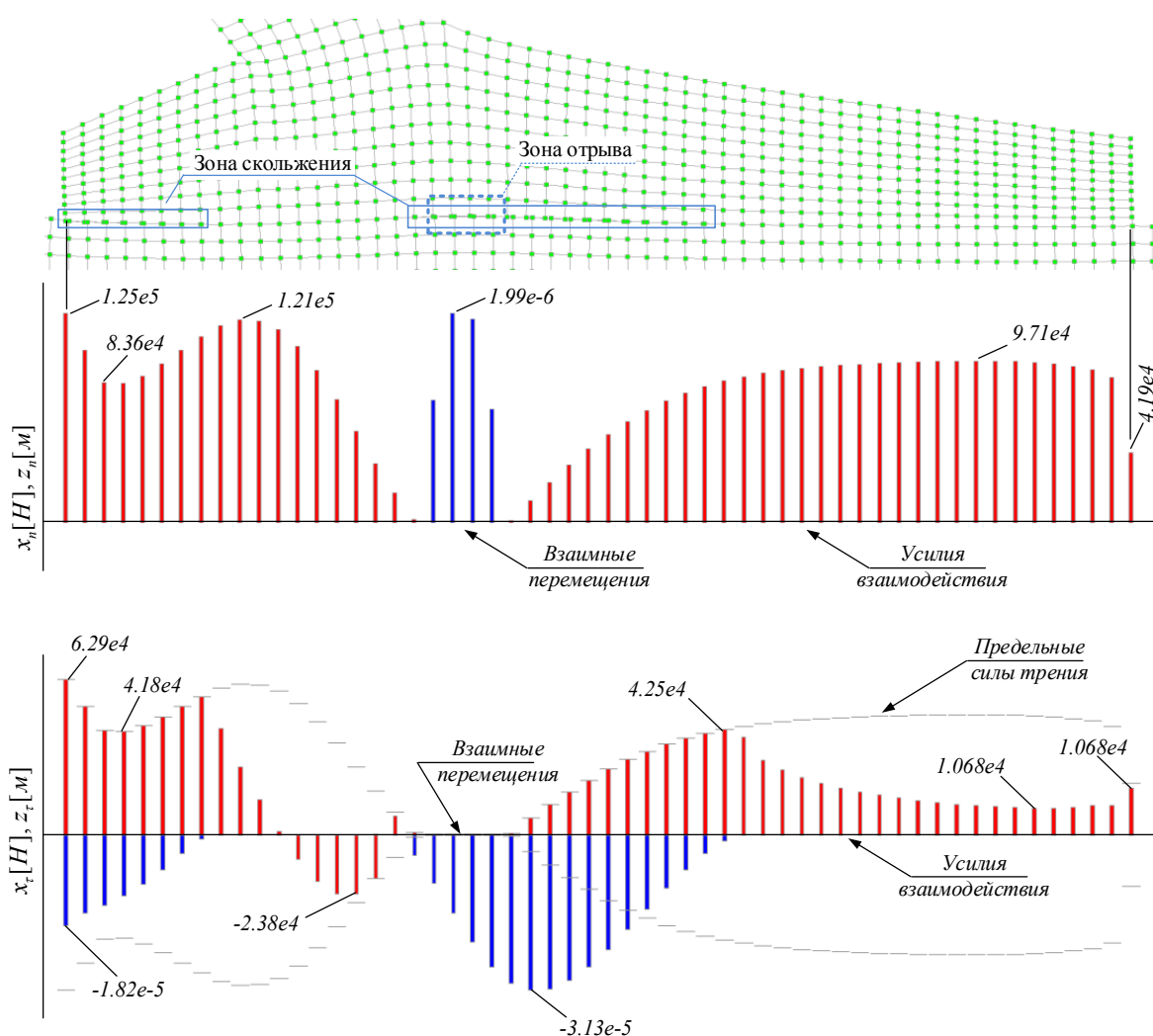


Рис. 5. Результат решения ЛЗД для $L_3=7$ м.

Зависимость запаса по напряжениям зоне контакта σ_h , σ_v [МПа] от параметра отношения высоты к длине ε показана на рис. 6. На каждом шаге изменялась длина L_3 и рассчитывались напряжения.

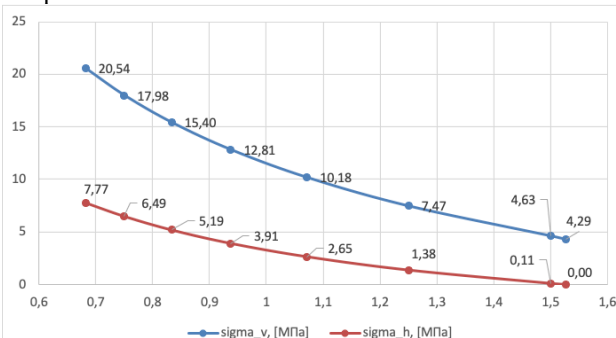


Рис. 6. Зависимость σ_v и σ_h от ε при $f=0.5$

При $\varepsilon > 1.5265621$ или $L_3 < 2.913$ м происходит проскальзывание подпорной стенки по основанию. При этом сохраняется запас от опрокидывания подпорной стенки $\sigma_v = 4.29$ МПа.

В зависимости от свойств грунта, коэффициент трения между подпорной стенкой и грунтом может меняться. Рассматривается такое же исследование, только при коэффициенте трения в зоне контакта $f = 0.9$. Результаты представлены на рис. 7.

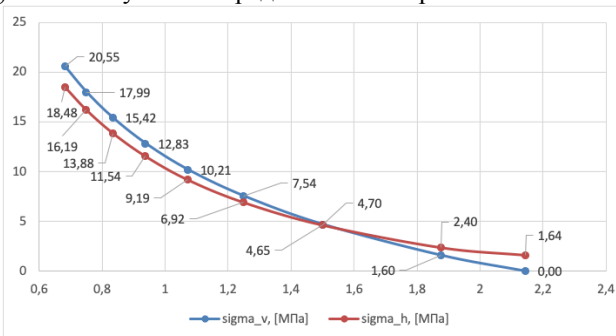


Рис. 7. Зависимость σ_v и σ_h от ε при $f=0.9$

Для данной постановки в крайнем случае (при $\varepsilon = 2.1428571$ или $L_3 = 1.5$) произошёл отрыв правой части подпорной стенки, но она всё ещё находится в равновесии. Деформированная схема (масштаб 1000:1) при $f=0.9$ при $L_3 = 1.5$ м показана на рис. 8.

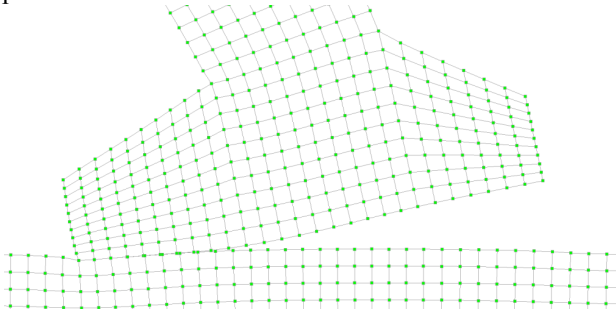


Рис. 7. Деформируемая схема перед моментом опрокидывания М1000:1

Во избежание перерасхода материалов необходимо проводить предварительные расчёты для выбора рациональных параметров подпорной стенки. При этом стоит обязательно учитывать возможность потери устойчивости, которая может привести к смещению или полному опрокидыванию подпорной стенки, что равносильно её разрушению.

Обсуждение

Произведена серия расчётов подпорной стенки с рядом упрощений: 1) отбрасывается часть грунта, формирующая активное давление, и заменяется усилиями; 2) пассивное давление грунта не учитывалось; 3) собственный вес грунта-основания не учитывался.

Малая фокусировка на грунте и его характеристиках, позволили получить простую схему, где основной интересующей и изучаемой темой является взаимодействие подпорной стенки с достаточно жёстким деформируемым основанием.

В ходе проведения численных экспериментов выяснилось, что для рассмотренного формата подпорной стенки характерно проскальзывание по грунту при коэффициенте трения $f=0.5$ между грунтом и сооружением. При рассмотрении задачи с коэффициентом трения равным $f=0.9$ наиболее вероятно опрокидывание подпорной стенки. В обоих случаях, уменьшая величину основания подпорной стенки L_3 , система доведена до критической отметки, при которой происходит потеря устойчивости (неспособность подпорной стенки выдерживать внешнее воздействие).

Интересно отметить, что отрыв поверхности подпорной стенки от грунта при уменьшении длины L_3 происходит сначала в середине зоны контакта. В дальнейшем, в зависимости от коэффициента трения отрыв увеличивается вправо до полной потери устойчивости.

Выводы

В результате выполнения поставленных задач были получены следующие ключевые результаты:

- Создана модель подпорной стенки и грунта, позволяющая исследовать их взаимодействие с учетом односторонних связей.
- Выбран метод конечных элементов как наиболее подходящий для анализа напряженно-деформированного состояния системы и оценки устойчивости конструкции.
- Реализован способ моделирования одностороннего взаимодействия стенки с грунтом с помощью постановки задачи в виде ЛЗД, учитывающий возможность отрыва основания от грунта.
- Проведена серия расчетов с варьированием длины основания подпорной стенки. Построены графики зависимости ключевых параметров от длины основания.
- Установлено, что длина основания оказывает существенное влияние на устойчивость подпорной стенки. С увеличением длины основания, коэффициент запаса устойчивости возрастает.



Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что учет одностороннего взаимодействия является важным аспектом при расчете подпорных стенок, так как позволяет более точно оценить возможность опрокидывания конструкции. Полученные зависимости на основе проведенного исследования могут быть использованы инженерами-проектировщиками для оптимизации параметров подпорных стенок и обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации.

Библиографический список

1. Лопанов В. И. Определение размеров подпорной стенки // Известия Томского индустриального института [Известия ТИИ]. 1937. Т. 56, Вып. 1-6.
2. Снитко Н.К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стен. Л.: Госстройиздат, 1963, 295 с.
3. Шихиев Ф.М., Яковлев П.И. Активное давление разнородной засыпки на подпорную стенку // Основания, фундаменты и механика грунтов, № 2, 1975, с. 24-26
4. Яковлев П.И. Исследование некоторых способов уменьшения давления грунта на подпорные стенки и причальные сооружения. Автореферат канд. дисс., Одесса, 1964, 20 с.
5. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. М.: Высшая школа. 1964, 196 с.
6. Цагарели З.В. Новые облегченные конструкции подпорных стен. М.: Стройиздат. 1969, 208 с.
7. Прокофьев И.П. Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок, М.: Стройиздат. 1947, 144 с.
8. Сахновский А.М. Давление несвязного грунта на подпорные стены. Автореф. канд. техн. наук. Днепропетровск. 1984, 20 с.
9. Рудых О.Л. Использование МКЭ для определения давления грунта засыпки на подпорные стены // Основания, фундаменты и механика грунтов, № 2, 1981, с. 20-22
10. Кожушко, В. П. Анализ работы уголкового подпорной стенки при взаимодействии ее с грунтом / В. П. Кожушко, С. Н. Краснов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2020. – № 90. – С. 134-143. – DOI 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.134. – EDN DUMMMP.
11. Леденёв, В.В. Расчет и конструирование специальных инженерных сооружений : учебное пособие / В. В. Леденев, В. Г. Однолько, А. В. Худяков. - Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2007. - 128 с.; 21 см.; ISBN 978-5-8265-0650-9
12. Семенюк, С. Д. Железобетонные подпорные стены / С. Д. Семенюк, Ю. Н. Котов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018. – № 4(61). – С. 86-101. – DOI 10.53078/20778481_2018_4_86. – EDN YPLUVV.
13. Kaveh et al. Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls Utilizing Eleven Meta-Heuristic Algorithms: A Comparative Study // Period. Polytech. Civ. Eng. 2020. Vol 64. № 1. P. 156–168. <https://doi.org/10.3311/PPci.15217>
14. Jiwankar H. Comparative Analysis of Cantilever Retaining Wall and Retaining Wall with Relieving Platform // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 822. № 012027. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/822/1/012027>
15. Kaveh A., Akbari H. Plasma Generation Optimization for Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall Structures // Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering. 2022. Vol. 46. № 2. P 1177-1200. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00566-8>
16. Popov, A. N. Frictional contact problem in building constructions analysis / A. N. Popov, A. D. Lovtsov // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – No. 8(100). – DOI 10.18720/MCE.100.1. – EDN GHIKRQ.

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

Статья поступила в редакцию 02.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 02.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья
УДК 691.32 : 666.972
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
DOI 10.51608/26867818_2024_3_48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

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

ИЛЬИНА Лилия Владимировна
доктор технических наук, профессор
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

SPIN: 1041-9513
ORCID: 0000-0002-6512-5803

АНПИЛОВ Сергей Михайлович
доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@yandex.ru)

SPIN: 8563-9035
ORCID: 0000-0002-1045-8467
Scopus ID: 57223797044

ЛЫТКИНА Евгения Владимировна
кандидат технических наук
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет
(Россия, Новосибирск; e-mail: jlyt85@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассмотрена возможность повышения прочности мелкозернистого бетона путем введения алюмосиликатной добавки метакеолина. В качестве вяжущего использованы портландцементы ЦЕМ I 42,5-Н производителей АО «Искитимцемент» и ООО «СЛК-Цемент». Высокое количество C_3S в цементе при гидратации приводит к увеличенному выделению портландита, который связывается алюмосиликатной добавкой метакеолин за счет его пуццоланической активности с образованием гидросиликатов кальция и дополнительных продуктов цементирования с последующим упрочнением структуры композитного камня. Вяжущее «Искитимцемент» (67,0 %) по сравнению с «СЛК-цемент» (62,0%) имеет большее количество C_3S , как следствие, большее количество выделяющегося при его гидролизе, портландита. Авторами констатировано большее упрочнение мелкозернистого бетона при введении 10 % метакеолина в состав на основе цемента с большим содержанием C_3S в ранние и поздние сроки твердения.

Ключевые слова: портландцемент; метакеолин; мелкозернистый бетон; подвижность смеси; прочность при сжатии; суперпластификатор

Для цитирования: Использование алюмосиликатных добавок для упрочнения мелкозернистых бетонов / Л.В. Ильина, С.М. Анпилов, Е.В. Лыткина // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 48-55. doi 10.51608/26867818_2024_3_48

Original article

THE USE OF ALUMINOSILICATE ADDITIVES FOR HARDENING FINE-GRAINED CONCRETE

© The Author(s) 2024

ILINA Liliia Vladimirovna
doctor of technical sciences, professor
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk, e-mail: nsklika@mail.ru)



ANPILOV Sergey Mikhailovich

doctor of technical sciences, professor of the Department
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk)

LYTKINA Evgeniya Vladimirovna

candidate of Technical Sciences
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering
(Russia, Novosibirsk)

Abstract. The article considers the possibility of increasing the strength of fine-grained concrete by introducing an aluminosilicate additive of metakaolin. As a binder, CEM I 42.5-N port-land cements from manufacturers «Iskitimcement» and «SLK-Cement» were used. The introduction of 10% metacaolin HMK-45 and methacaolin waste after the production of foam glass allows to obtain fine-grained concretes with increased compressive strength both in the early stages of hardening and at the design age on cements containing different amounts of C3S. The high amount of C3S in cement during hydration leads to an increased release of portlandite, which is bound by the aluminosilicate additive metakaolin due to its volcanic activity with the formation of calcium hydrosilicates and additional cementation products, followed by strengthening of the composite stone structure. The existing «Iskitimcement» (67.0%) has a higher amount of C3S compared to «SLK-cement» (62.0%), as a result, a greater amount of portlandite released during its hydrolysis. The authors noted a greater hardening of fine-grained concrete when 10% metacaolin was introduced into a cement-based composition with a high content of C3S in the early and late periods of hardening.

Keywords: portland cement; metacaolin; fine-grained concrete; mobility of the mixture; compressive strength; superplasticizer

For citation: The use of aluminosilicate additives for hardening fine-grained concrete / L.V. Ilyina, S.M. Anpilov, E.V. Lytkina // Expert: theory and practice. 2024. No. 3 (26). p. 48-55. doi 10.51608/26867818_2024_3_48

Введение

В последние годы одной из важнейших задач в строительном материаловедении является получение бетонов не только с высокой прочностью, но и быстрым ее набором. Решить эти задачи можно путем введения дисперсных минеральных добавок как инертных, так и активных по отношению к портландцементу [1-7]. На сегодняшний день в качестве высокоэффективной упрочняющей добавки в бетоны все большую популярность в мире получает алюмосиликатная добавка метакеолин [8-12]. Метакеолин (МТК) является высокоактивной пуццолановой добавкой в бетон, способной образовывать нерастворимые гидроалюмосиликаты кальция [10-12]. Метакеолин обычно содержит 50...55 % SiO_2 и 40...45 % Al_2O_3 .

В бетонных смесях с использованием метакеолина идет модифицирование структуры цементного камня с его уплотнением и последующим упрочнением. Это можно объяснить пуццоланической активностью метакеолина и его удельной поверхностью, большей в 4-6 раз частиц вяжущего вещества. Поэтому межзерновое пространство вяжущего вещества наполняется частицами минеральной добавки, взаимодействующей с продуктами гидратации клинкерных минералов и сопутствующих оксидов. Этот процесс приводит к появлению прочных нерастворимых новообразований с последующим уплотнением и упрочнением структуры. Введение алюмосиликатной добавки метакеолина в

цементные системы повышает долговечность бетонов, их коррозионную стойкость и водонепроницаемость [8-9].

При введении метакеолина водопотребность цементного теста повышается, вследствие этого количество связанной воды в системе увеличивается – это косвенно может свидетельствовать росту числа новообразований в цементном камне [10-12].

Материалы и методы исследований

Для повышения прочностных характеристик мелкозернистого бетона с исследованием был использован метакеолин производства компании ООО «Синерго» модификации ВМК-35 и ВМК-45 и метакеолин, полученный при производств пеностекла (ВМК-отход). В таблице 1 приведен минеральный состав используемых минеральных добавок.

Таблица 1. Характеристики метакеолина

Вид метакеолина	Характеристики			
	Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	Содержание активных оксидов, мас. %		Пуццолановая активность, $\text{мг Ca(OH)}_2/\text{г}$
		SiO_2	Al_2O_3	
ВМК-35	15 000	52	43	1100
ВМК-45	17 000	53	42	1100
ВМК-отход	17 000	50	40	1000

На рисунках 1-3 представлены дифрактограммы алюмосиликатных добавок,

описание их минерального состав приведено в табл.2.

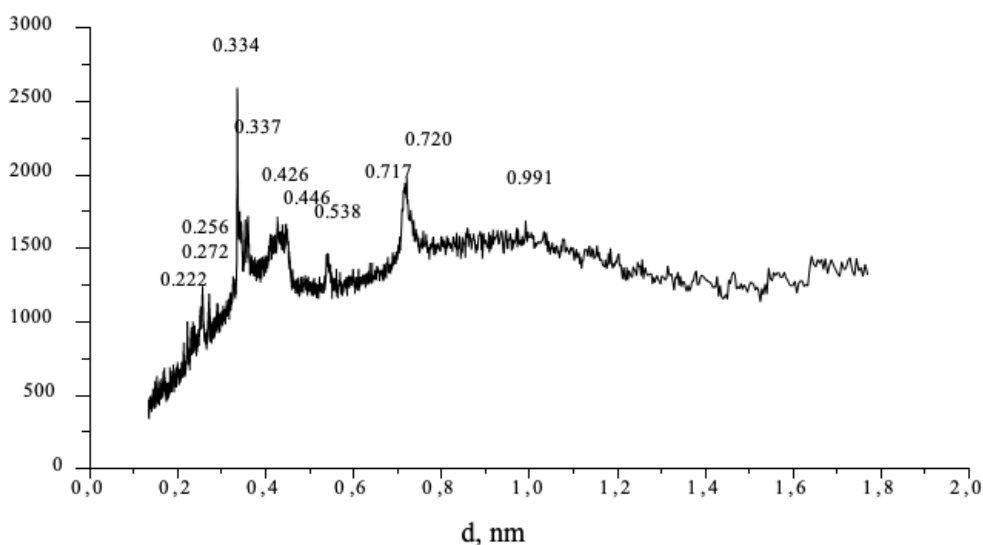


Рисунок 1. Дифрактограмма ВМК-35

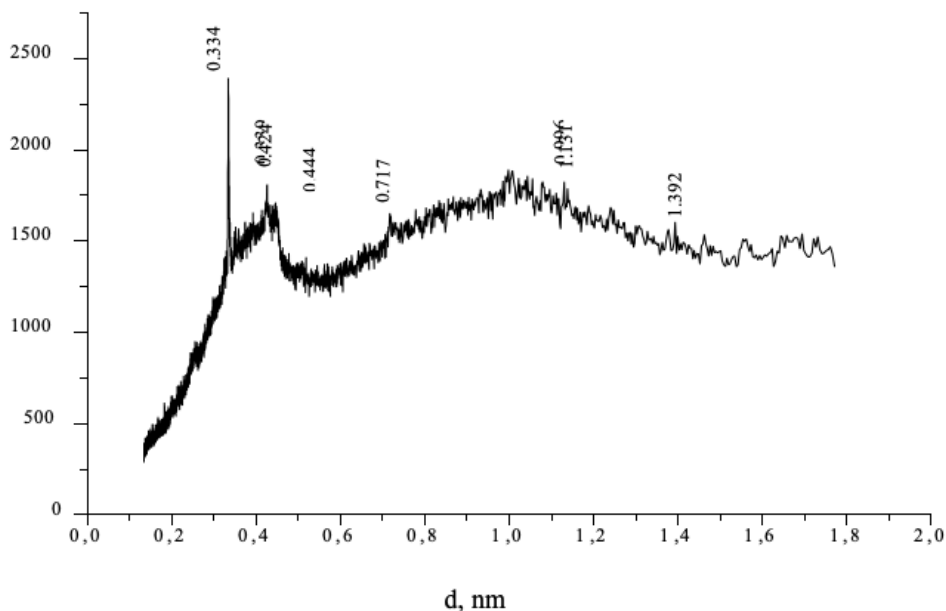


Рисунок 2. Дифрактограмма ВМК-45

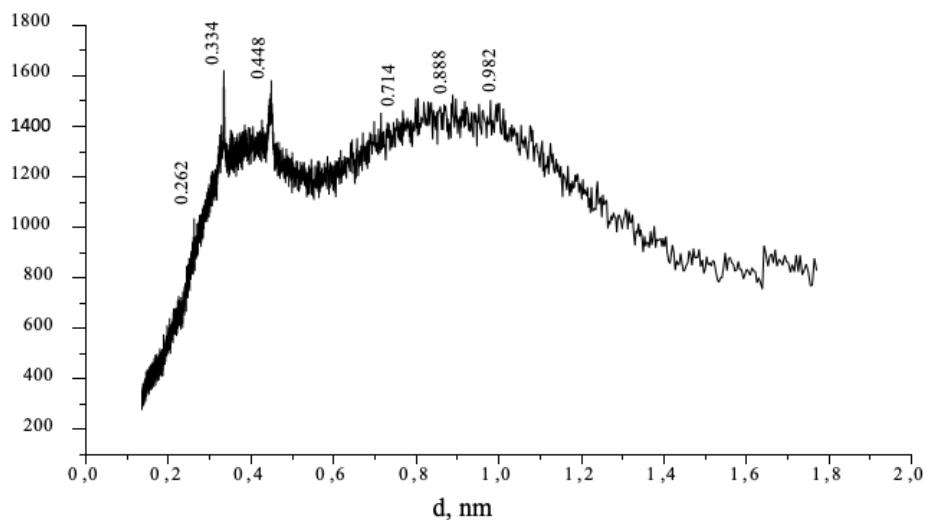


Рисунок 3. Дифрактограмма ВМК-отход



Таблица 2. Минеральный состав метакеолина

Минерал	d/n, Å
Каолинит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	0,222
	0,337
	0,426
	0,444-0,448
	0,714
Муллит - $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	0,256
	0,272
	0,339
	0,538
Кварц - SiO_2	0,334
	0,424
Антигорит- $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	0,717
Хлорит- $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$	0,720
	1,392
Слюда - $\text{KA}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$;	0,991-0,996
	0,982
Гибриобитит - $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1,131
Монтмориллонит $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	0,888
Палыгорскит - $\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{O})_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	0,262

В состав каждого метакеолина входят слюда и кварц, аморфизованный каолинит, так же в модификации ВМК-35 и ВМК45 присутствует муллит.

Для снижения водоцементного отношения в работе использовался суперпластификатор на основе эфира полиарилата Master Poleheed 3043(производитель «Master Builders Solutions»).

В качестве минерального вяжущего вещества использованы портландцементы типа ЦЕМ I класса по прочности 42,5 нормально твердеющий производства ООО «СЛК-цемент» (Свердловская область, г. Сухой Лог) и ООО «Искитимцемент» (Новосибирская область, г. Новосибирск). Их основные характеристики приведены в таблице 3. Химический и минералогический состав портландцементного клинкера указан в таблицах 4 и 5.

Мелкий заполнитель в работе представлен кварцевым песком компании ООО ТД «Борок» (с. Марусино, Новосибирская обл.). Его насыпная плотность составляла 1509 кг/м^3 , модуль крупности – 2,33.

Таблица 3. Техническая характеристика портландцемента

№ п/п	Наименование показателя	Требуемое значение	Фактическое значение	
			Искитимцемент	СЛК-цемент
1	Тонкость помола (остаток на сите №008), %	не нормируется	1,1	0,5
2	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	не нормируется	365	-
3	Сроки схватывания:			
	- начало, мин	не ранее 60	200	180
	- конец, мин	не нормируется	240	265
4	Равномерность изменения объема (расширение), мм	не более 10	0,1	0,56
5	Нормальная густота, %	не нормируется	27,20	26,1
6	Прочность при изгибе:			
	- в возрасте 2 суток, МПа	не нормируется	2,8	5,1
	- в возрасте 28 суток, МПа	не нормируется	8,3	8,9
7	Прочность при сжатии:			
	- в возраст 2 суток, МПа	Не менее 20,0	26,	23,3
	- в возрасте 28 суток, МПа	От 42,5 до 62,5	53,4	50,3

Таблица 4. Химический состав портландцементного клинкера, %

Вид цемента	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$	Cl	Нерастворимый остаток
Искитимцемент	19,02	4,75	3,76	63,81	1,49	2,54	0,80	0,01	0,32
СЛК-цемент	18,2	4,0	3,5	60,0	3,7	2,9	0,70	0,02	-

Таблица 5. Минералогический состав цементного клинкера, %

Вид цемента	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Искитимцемент	67,0	10,0	6,6	12,0
СЛК-цемент	62,0	14,6	5,5	12,6



Рентгенофазный анализ был проведен для качественной оценки фазового состава алюмосиликатной добавки и гидратных составляющих цементного камня составов без добавок (контрольного) и с добавками метаксаолина. Методом порошковой дифрактометрии были проведены исследования образцов всех составов на аппарате ДРОН-4М. Съемку проводили на кобальт-СиКа излучении с фокусировкой по Бреггу-Брентано. Образец был запрессован в кювету диаметром 20 мм. Ток рентгеновской трубки – 15 мА, ускоряющее напряжение – 35 кВ.

Морфология поверхности образцов цементного камня изучалась с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 1000 Hitachi Science Systems Ltd.

Для испытания на прочность при сжатии изготавливались образцы-балочки размером 40×40×160 мм, которые твердели в нормальных условиях в течение 1, 3, 7 и 28 суток. Испытания на сжатие проводили на испытательной машине «ТП-1-1500».

Результаты и обсуждение

Результаты влияния алюмосиликатных добавок на механические характеристики мелкозернистого бетона представлены в таблице 6.

Анализируя экспериментальные данные можно сделать вывод, что введение добавки высокоактивного метаксаолина модификаций ВМК-45 и ВМК-35 и метаксаолина из отходов производства пеностекла приводит к упрочнению мелкозернистого бетона как в ранние сроки (1, 3 суток) твердения, так и в поздние (28 суток).

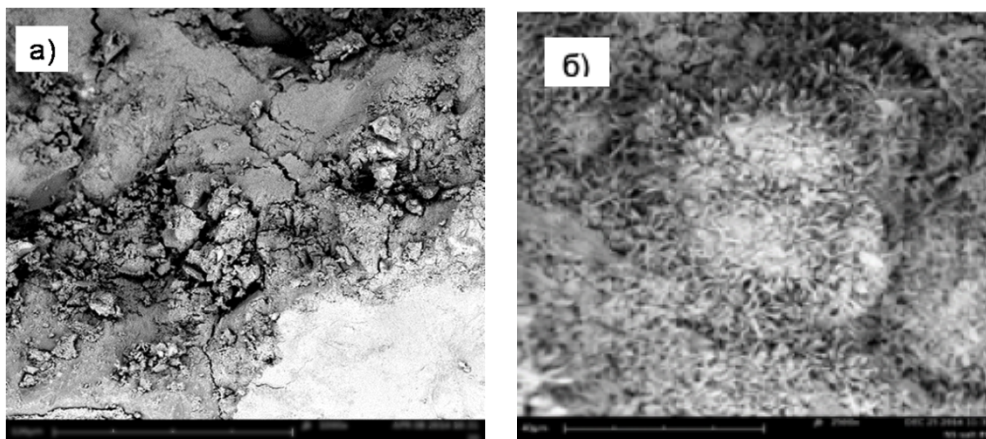
В составах с алюмосиликатами добавками было снижено расход цемента на 10 %. При этом прирост прочности, даже при уменьшенном количестве цемента, относительно контрольного бездобавочного состава, составил 17-26 % на вяжущем «Искитимцемент», и 9-19 % на «СЛК-цемент». Это может быть обусловлено разным количеством алитовой фазы цементов, где в процессе гидратации и реакции пуццоланизации связывается разное количество портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с метаксаолином с образованием гидросиликатов и алюминатов кальция и других продуктов твердения, приводящих к росту прочности.

Таблица 6. Результаты влияния алюмосиликатных добавок на прочностные характеристики мелкозернистого бетона

Вид метакаолина	Состав бетонной смеси					В/Ц	В/В	Подвижность смеси (ОК), см	Прочность пи сжатии бетона, МПа, в возрасте, сут				Упрочнение, %
	Цемент	Песок	Мета- каолин	Пласти- фикатор	Вода								
									1	3	7	28	
Искитимцемент													
Без метакаолина (контрольный состав)	450	1450	-	4,05	237	0,52	0,52	20	3,0	18,0	23,5	34,1	0
Отход	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	18	4,1	21,5	28,1	43,1	126
ВМК-45	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	18	4,5	22,6	28,4	42,9	126
ВМК-35	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	16	3,9	19,0	24,5	38,1	117
Сухоложскцемент													
Без метакаолина (контрольный состав)	450	1450	-	4,05	237	0,52	0,52	20	5,5	18,6	22,0	36,1	0
Отход	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	18	7,2	21,5	25,9	42,5	118
ВМК-45	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	18	6,5	21,4	26,5	43,1	119
ВМК-35	405	1450	45	4,05	237	0,58	0,52	15	3,5	18,8	24,1	39,2	109

Гидратированные силикаты и алюминаты кальция обладают достаточно высокой прочностью, в отличие от гидроксида кальция, что предопределяет более высокие механические показатели составов с минеральной добавкой (таблица 6).

Для объяснения упрочняющего эффектов была изучена микроструктура цементного камня контрольного и модифицированного составов. На рисунке 5 представлена дифрактограмма контрольного образца, на рисунке 6 – модифицированного образца. Фазовые изменения цементного камня при введении метаксаолина подтверждаются дифрактограммами.



а – контрольный образец б – образец с добавкой метакаолина
Рисунок 4. Микроструктура образцов при увеличении 2500 крат

Анализ микроструктуры цементной матрицы показал высокую пористость цементного камня бездобавочного состава (рис.4 а). Введение метакаолина модифицирует структуру материала, в результате чего формируются гидросиликаты кальция игольчатой структуры (рис.4 б).

Структура цементного камня в составах с метакаолином более плотная, поровое пространство уплотняется за счет интенсивного взаимодействия добавки с гидратными новообразованиями. В результате прочность модифицированного мелкозернистого бетона возрастает к 7 и 28 суткам относительно контрольного состава.

Фазовые изменения в цементном камне исследовались методом рентгенофазового анализа. Межплоскостные расстояния гидратных фаз цементного камня по данным РФА представлены в таблице 7.

Таблица 7. Дифракционные характеристики продуктов гидратации

Гидратная фаза	Межплоскостные расстояния, d/n, Å
Ca(OH) ₂	4,93; 2,62; 1,92; 1,79; 1,68; 1,48
C-S-H	3,10; 3,02; 2,88; 2,77; 2,60
C-A-H	2,31; 2,18; 2,04; 1,92; 1,62
C ₃ S	3,02; 2,77; 2,60
β-C ₂ S	2,77; 2,60; 2,18

Анализ дифрактограмм цементного камня с добавкой и без добавки метакаолина показал, что при его добавлении снижается интенсивность рефлексов портландита ($d = 4,93; 2,62; 1,92; 1,79; 1,69; 1,48$) (рис. 5, рис.6, табл. 7), повышается интенсивность рефлексов гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

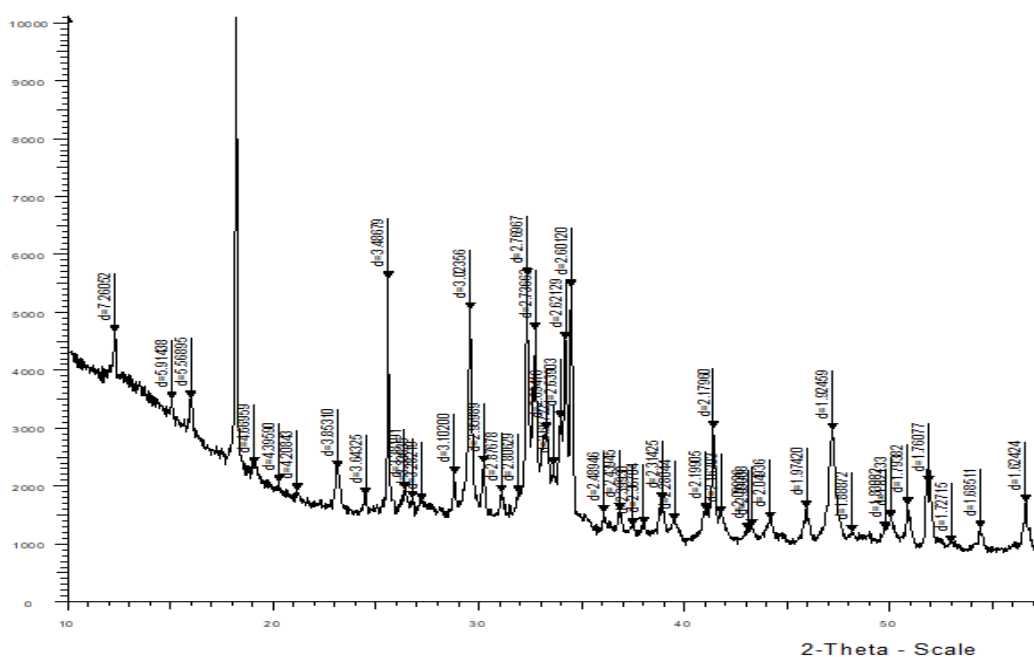


Рисунок 5. Дифрактограмма цементного камня контрольного (бездобавочного) состава

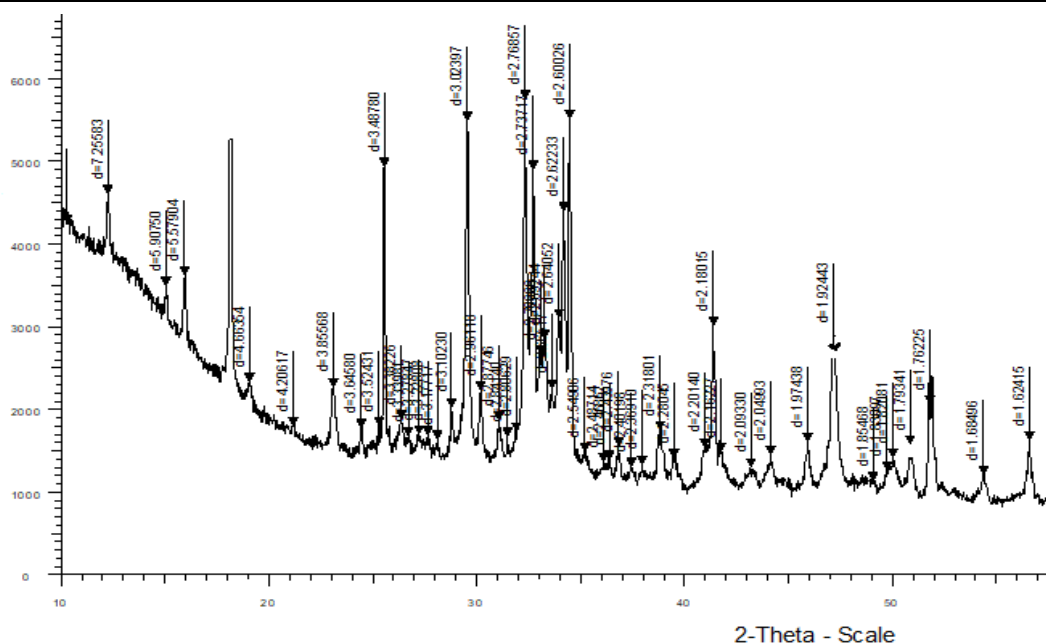


Рисунок 6. Дифрактограмма цементного камня состава с метакhaoлином

Таким образом, по полученным результатам можно сделать вывод, что происходит взаимодействие метакhaoлина с гидроксидом кальция, который выделяется при гидролизе силикатов. Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составах с метакhaoлином уменьшается, что ведет к росту образований гидросиликатов и гидроалюминатов аляция. При этом новообразования обладают повышенными физико-механическими характеристиками.

Заключение

Таким образом, введение 10 % добавки высокоактивного метакhaoлина модификации ВМК-45 И ВМК-отход приводит к увеличению прочностных характеристик мелкозернистых бетонов. Замещение 10 % портландцемента двух разных производителей минеральной добавкой позволяет экономить вяжущее вещество, а также получать при этом мелкозернистые бетоны с повышенной прочностью по сравнению с бездобавочным составом.

Упрочнение составов с добавкой метакhaoлина в нормальных условиях в поздние сроки твердения 28 суток на цементе «Искитимцемент» составило 17-26 %, на цементе «СЛК-цемент» 9-19 % относительно контрольного (бездобавочного) состава.

Библиографический список

- Ильина, Л. В. Влияние дисперсных минеральных добавок на прочность мелкозернистого бетона / Л. В. Ильина, С. А. Хакимуллина, Д. А. Кадоркин // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 4-1. – С. 34-38. – EDN YKTLVJ.
- Торопов, Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем: справочник / Н. А. Торопов [и др.]. - Вып. 3. Тройные системы. - Ленинград: Наука, 1972. - С.185-191.
- Урханова, Л. А. Бетон повышенной прочности на композиционном вяжущем / Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов, С. П. Бардаханов // Строительные материалы. – 2012. – № 3. – С. 23-25. – EDN OYDXAF.
- Повышение прочностных характеристик цементных конгломератов добавками направленного действия / Л. В. Ильина, В. В. Молодин, Н. О. Гичко, А. К. Туляганов // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 36-42. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-815-7-36-42. – EDN NZDKUO.
- Лесовик, Р. В. Высокопрочный мелкозернистый бетон на композиционных вяжущих и техногенных песках для монолитного строительства / Р.В. Лесовик, Е.С. Глаголев, Д.М. Сопин [и др.] – Белгород: БГТУ, 2013.
- Моделирование процессов кинетики цементных композитов, модифицированных кальций-содержащими добавками / Л. В. Ильина, С. В. Самченко, М. А. Раков, Д. А. Зорин // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 494-503. – DOI 10.15828/2075-8545-2023-15-5-494-503. – EDN WVIFWH.
- Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих / А. И. Харченко, В. А. Алексеев, И. Я. Харченко, Д. А. Баженов // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 3(126). – С. 322-331. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331. – EDN VXZBMM.
- Кирсанова, А. А. К вопросу о долговечности бетонов с комплексными добавками, включающими метакhaoлин / А. А. Кирсанова, Ю. В. Ионов, Л. Я. Крамар // Фундаментальные и прикладные науки - основа современной инновационной системы : Материалы



международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 02–13 февраля 2015 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2015. – С. 198-203. – EDN TXXGBR.

9. Влияние активных пуццолановых наполнителей на свойства мелкозернистого цементного бетона / С. В. Макаренко, Б. М. Лозовский, О. В. Хохряков, В. Г. Хозин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – № 3(53). – С. 39-46. – EDN GTYGSF.

10. Кузнецова, В. Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метакеолина / В. Кузнецова, А. П. Нефедьев, Д. Ю. Коссов // Строительные материалы. – 2015. – № 7. – С. 3-4. – EDN UAXOOD.

11. Особенности формирования фазового состава метакеолинов и его влияние на их свойства / Е. С. Михайлюта, Е. В. Алексеев, В. В. Коледа, Т. А. Шевченко // Цемент и его применение. – 2012. – № 5. – С. 66-71. – EDN RPZMPP.

12. Мясникова, А. А. Влияние метакеолина на фазообразование и структуру цементного камня / А. А. Мясникова // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2022. – № 2(32). – С. 41-48. – EDN ICCYTQ.

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

Статья поступила в редакцию 04.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 04.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья
УДК 666.3.022
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
DOI 10.51608/26867818_2024_3_56

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Авторы 2024
SPIN-код: 2371-3750

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

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

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

SPIN-код: 7487-7522
ORCID 0000-0002-5747-9070
Researcher ID: H-4667-2016
Scopus ID: 55985081000

СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич
доктор технических наук, профессор
Сибирский государственный индустриальный университет
(Россия, Новокузнецк, e-mail: stanyr@list.ru)

Аннотация. Рассмотрены приемы, применявшиеся для снижения средней плотности глиняного кирпича. Приведены основные способы изготовления эффективных керамических материалов, отвечающих современным теплотехническим требованиям по энергосбережению зданий. Разработана технологическая схема получения гранулированной шихты из непластичных техногенных отходов для формирования матричной структуры условно эффективных и эффективных керамических материалов.

Ключевые слова: способы изготовления эффективной керамики; техногенное непластичное сырье; гранулирование; технологическая схема; керамические материалы с матричной структурой; строительные материалы

Для цитирования: Основные способы и перспективные направления создания эффективных керамических материалов / Е.В. Истерин, О.А. Фомина, А.Ю. Столбоушкин // Эксперт: теория и практика. 2024. №3 (26). С. 56-62. doi 10.51608/26867818_2024_3_56

Original article

THE MAIN METHODS AND PROMISING DIRECTIONS FOR CREATING EFFECTIVE CERAMIC WALL MATERIALS

© The Author(s) 2024

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

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



STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich

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

Abstract. The techniques used to reduce the average density of clay bricks are considered. The main methods for producing efficient ceramic materials that meet modern thermal requirements for energy saving buildings are presented. A technological scheme has been developed for producing granular charge from non-plastic technogenic waste to form a matrix structure of conventionally effective and efficient ceramic materials.

Keywords: methods of manufacturing effective ceramics; man-made non-plastic raw materials; granulation; technological scheme; ceramic materials with a matrix structure; building materials

For citation: The main methods and promising directions for creating effective ceramic wall materials / Isterin E.V., O.A. Fomina, A.Y. Stolboushkin // Expert: Theory and Practice. 2024. No. 3 (26). p. 56-62. doi 10.51608/26867818_2024_3_56

Введение

В настоящее время в связи с повышением требований по теплозащите зданий [1] все больше возникает необходимость производства и внедрения в повседневную практику экологически чистых, теплоэффективных, конкурентоспособных, и в то же время недорогих стеновых материалов. Поэтому, перед предприятиями – производителями кирпича стоит сложная задача по улучшению теплофизических свойств стеновых материалов, сохраняя при этом прочностные характеристики [2-4].

В настоящее время на строительном рынке преобладает множество строительных материалов для устройства наружных стен, но лишь треть из них обеспечивают требуемые нормы по теплозащите зданий и сооружений. Одними из перспективных являются эффективные керамические материалы [5].

По сложившемуся определению с точки зрения структуры керамика представляет собой пористо-капиллярное тело. В основном это плотный материал со сложной мелкопористой структурой [6]. Каркас керамического кирпича включает мелкие поры, они могут быть условно замкнутыми и открытыми, пористость керамики обычно составляет 10-40 %. Максимальная пористость достигается при введении порообразующих добавок в керамическую массу [7-8].

Для создания пористых керамических материалов часто применяются глинистые и микропористые кремнистые породы, которые в процессе обжига при достаточно невысоких температурах образуют прочный и водостойкий материал межпоровых перегородок [9].

Формирование керамических матричных композитов с упорядоченной матрицей обеспечивает повышение различных эксплуатационных характеристик материала и возможность использования низкокачественных глин и техногенных отходов в качестве основного сырья для производства керамики [10].

В результате анализа литературы можно отметить следующие моменты:

- структура керамического черепка влияет на различные свойства материала. При рациональном фракционном составе сырья, обеспечивающем плотную упаковку зерен, в процессе обжига формируется мелкопористая структура плотного и прочного керамического черепка;

- высокая пористость керамики приводит к снижению средней плотности и коэффициента теплопроводности материала с одновременным ухудшением его прочностных характеристик;

- для повышения предела прочности при сжатии эффективного керамического материала необходимо формировать упорядоченную гетерофазную структуру с выраженным различием физических характеристик отдельных компонент и совместимостью работы в общей композиции.

Таким образом при разработке технологии эффективных керамических стеновых материалов была сформулирована *рабочая гипотеза исследований*: создание керамической матрицы, формирующей пространственно-организованной каркас вокруг агрегированного «облегченного» заполнителя, обеспечивает высокую структурную прочность керамического черепка. Характерным показателем при этом является его коэффициент конструктивного качества как отношение прочности керамического материала к его средней плотности.

Цель настоящей работы заключалась в изучении основных способов получения эффективных керамических стеновых материалов и разработке технологических принципов снижения средней плотности при сохранении прочностных характеристик керамического черепка с матричной структурой.

Результаты и обсуждение

Повышение пористости и таким образом снижение средней плотности и теплопроводности



материала достигается в керамике различными способами, к основным, из которых относят:

- введение выгорающих добавок;
- газообразование;
- пенообразование;
- аэрирование;
- комбинированный способ.

Введение выгорающих добавок является самым распространенным способом, уменьшающим плотность керамических материалов (рис. 1, а). В качестве добавок обычно применяются отходы углеобогащения, золы ТЭЦ, древесные опилки, коксовая пыль, тростниковый жом, костра льна, рисовая лузга, мазут, нафталин, антрацит, полистирол и др. [11-12]. Основным недостатком способа выгорающих добавок является ограничение верхнего предела пористости – до 65 %.

За рубежом главные производители пористых строительных керамических материалов (США, Франция, Швеция и др.) в основном используют вспененный полистирол фракцией менее 0,5 мм, получая тем самым пористость изделия в пределах 80-82 %. Использование мелкозернистого пенополистирола позволяет получить материал с высокими эксплуатационными показателями, а именно со средней плотностью 600-700 кг/м³, прочностью при сжатии 10 МПа. Полученные изделия вследствие особой структуры имеют низкую теплопроводность и пригодны в качестве теплоэффективного материала.

Способ газообразования основывается на вспучивании сырьевой массы газом, выделяемым при химической реакции взаимодействия или разложения присутствующих или специально введенных добавок. Используемые газообразующие добавки должны обеспечить большой объем образующихся газов, равномерное выделение газа в нужном температурном интервале, а также не должны быть токсичными (рис. 1, б) [13].

Основным газообразователем, используемым при производстве материалов, является алюминиевая пудра. Управление процессом вспучивания и структурообразования смесей заключается в совмещении скоростей этих процессов, причем в начале газовыделения вязкость массы должна возрастать медленно, а в конце – резко. Именно соблюдение этого условия способствует получению газоблоков с пористой ненарушенной структурой. Главным недостатком является то, что указанные процессы практически невозможно успешно сбалансировать. Проблемными факторами, виновными в плохом вспучивании массы, являются: полидисперсность пудры, длительность

газообразования, высокая чувствительность газообразователя к изменению температуры, РН-среды, а также реологических свойств смеси.

Способ пенообразования. Для пенообразования свойственно отдельное приготовление пены, жидкотекучего раствора, вяжущего и наполнителя, и их смешивание. До процесса перемешивания пена представляет собой сформировавшуюся дисперсную систему с определенной структурой и механической устойчивостью. Вследствие этого процесс пенообразования менее чувствителен к изменению свойств вяжущего, заполнителя, температуры среды, ее физических и химических характеристик по сравнению с процессом газообразования (рис. 1, в).

Технология производства пенокерамики по способу пенообразования начинается с приготовления пенокерамической массы, которая затем выдерживается в формах для набора структурной прочности. Главная проблема пенокерамической технологии заключается в получении стойкой и прочной пены, которая бы при процессе смешивания с суспензией не подвергалась разрушению и могла выдержать ее давление. В качестве основных пенообразователей применяют: канифольное мыло, сапонино-альдегидный и алюмосульфонафтовый пенообразователи, гидролизную кровь и др. [14].

Способ аэрирования (рис. 1, г) предполагает процесс вовлечения пузырьков воздуха в раствор. Основное различие между технологиями аэрирования и пенообразования заключается в том, что поризованная структура аэрированных материалов создается во время перемешивания всех компонентов смеси совместно с ПАВ, способствующим удерживанию воздуха, в то время как по технологии пенообразования пену необходимо готовить отдельно.

Изменения интенсивности поризации (скорости и времени аэрации, температуры среды, концентрации и вида ПАВ, типа перемешивающего аппарата) приводят к созданию пор разных размеров и изменению степени поризации, т.е. управление процессом образования пены на протяжении всего цикла приготовления смеси.

По способу аэрирования измельченную глину и другие минеральные сырьевые компоненты распускают в воде, вводят добавку разжижителя и пенообразователя, а затем полученную смесь взбивают до заданного объема. В качестве стабилизирующей добавки также в основном используют гипсовые растворы, которые вводят в процессе перемешивания вспененной глиняной массы.

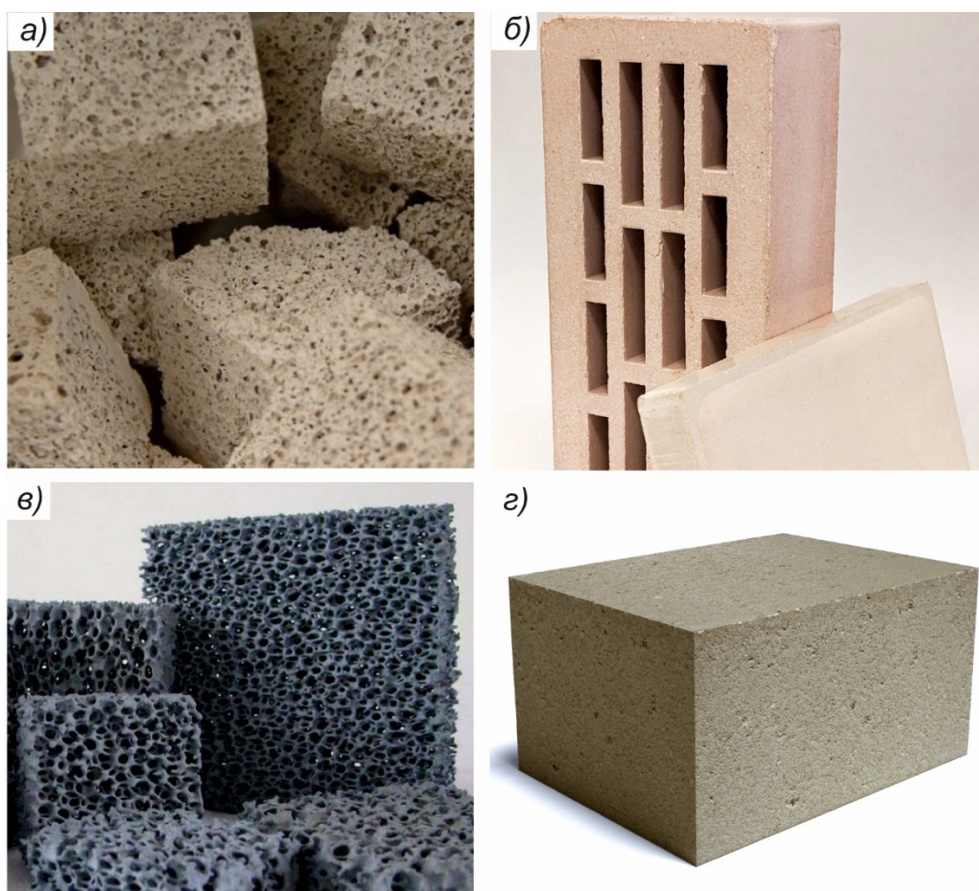


Рис. 1. Внешний вид керамических материалов, полученных различными способами:

- а* – с добавлением выгорающих добавок;
- б* – кирпич, полученный способом газообразования;
- в* – образцы, полученные путем пенообразования;
- г* – керамический блок, изготовленный способом аэрирования

В современном производстве керамического кирпича полусухого прессования существует не так много способов получения пресс-порошка, качество и рациональная гранулометрия которого, как отмечалось выше, существенно влияет на структуру готовых изделий. Обязательным считается получение полифракционного гранулометрического состава порошка оптимальной влажности с тем, чтобы качество сырца при соответствующем давлении прессования отвечало требованиям по равномерности, отсутствию трещин перепрессовки и другим параметрам [15].

Традиционный подход к технологическим приемам в полусухом прессовании кирпича, сформировавшийся еще в середине прошлого столетия, не удовлетворяет современным требованиям как к технике и экономике, так и к качеству выпускаемых изделий [16]. Распространенными ошибками при проектировании и строительстве заводов является несоответствие между свойствами сырья и возможностью его тщательной переработки на устаревшем отечественном технологическом оборудовании, упрощенная технология подготовки пресс-порошка и, как следствие, низкое качество сырьевых и

готовых изделий [17-18].

Несмотря на то, что многие авторы публикаций по проблемам компрессионного формования считают, что технология может быть приспособлена для любого вида природного и техногенного сырья, на практике возникает необходимость в дополнительной его переработке или корректировке шихт при неправильном выборе сырьевой базы [19-22].

В соответствии с рабочей гипотезой исследования, авторами разработана технологическая схема получения строительной керамики с матричной структурой (рис. 2). Анализ литературных данных и собственные исследования авторов показали, что перспективной технологической операцией при приготовлении пресс-масс для формования керамических стеновых материалов из тонкодисперсных порошков является их агрегирование в гранулы. Использование агрегированных порошков рационального грансостава, с одной стороны, обусловлено необходимостью плотной упаковки зерен при прессовании, с другой стороны, использованием их высокой реакционной способности вследствие



большой площади контакта тонкодисперсных частиц.

Гранулированные массы обладают большей подвижностью и меньшими значениями упругой деформации и внутренней энергии по сравнению с дисперсными порошками.

При использовании в качестве непластичного техногенного сырья золы-уноса ТЭЦ технология

позволяет получить условноэффективные керамические материалы со средней плотностью порядка 1200 кг/м³ [23].

Результаты физико-механических испытаний керамических образцов на основе зольных гранул приведены в таблице.

Таблица – Физико-механические свойства керамических образцов

№ п/п	Состав шихты, об. %	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	ККК
1	Глина – 40, Зола – 60	19,7	1301	16,1	15,1
2	Глина – 30, Зола – 70	16,2	1243	18,2	13,0
3	Глина – 20, Зола – 80	11,4	1168	19,8	9,8

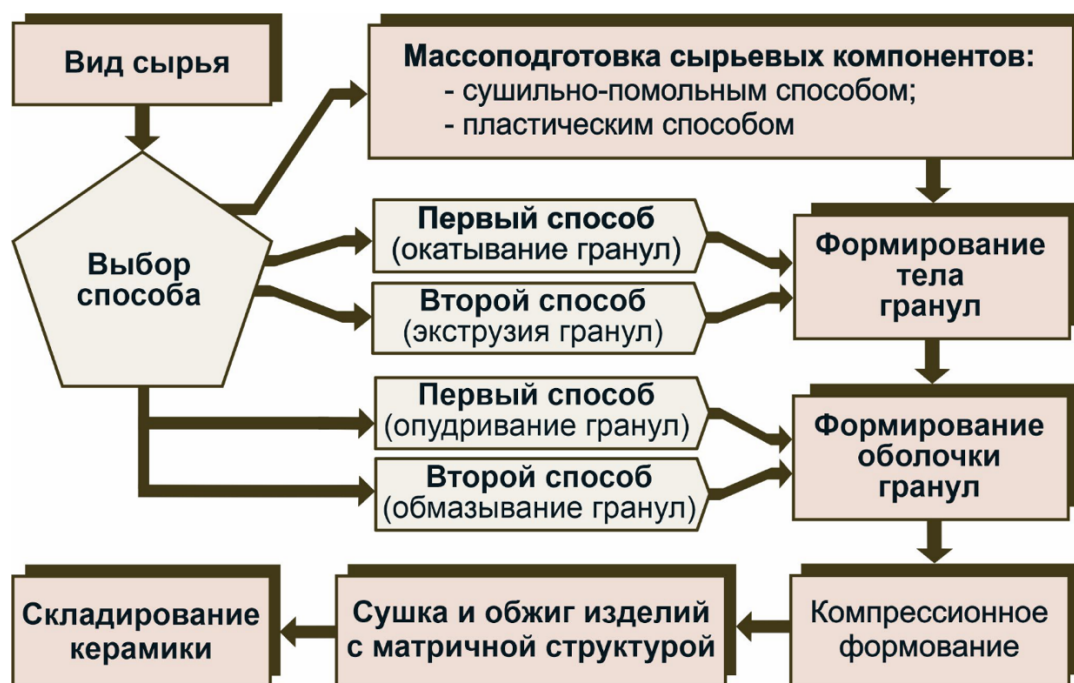


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема получения керамических образцов с матричной структурой на основе непластичного техногенного сырья

Проведенные исследования показали, что керамические образцы с матричной структурой, изготовленные способом компрессионного формования опудренных зольных гранул, с последующей сушкой и обжигом при температуре 1050 °С, имели среднюю плотность 1168-1301 кг/см³ и предел прочности при сжатии 11,4-19,7 МПа в зависимости от количества золы-уноса в составе шихты от 60 до 80 %. С учетом отсутствия связности между частицами золы при их агрегировании в гранулы использовалась технологическая связка на основе поливинилового спирта. В соответствии с технологической схемой (рис. 2) формирование тела гранул осуществлялось по второму способу путем экструзии на лабораторном шнековом прессе. Формирование оболочки гранул осуществлялось по первому способу путем опудривания их поверхности тонкодисперсной глиной в смесителе-грануляторе.

С учетом понижающего коэффициента прочности в пересчете на реальные размеры кирпича ($\times 0,65$) минимальная марочная прочность изделий в соответствии с ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» обеспечивается при 70 % содержании зольного компонента.

Закключение

В результате анализа литературных данных и экспериментальных исследований по созданию эффективных керамических стеновых материалов установлено следующее:

- формирование эффективной структуры керамического черепка в первую очередь определяется вещественным составом, технологическими свойствами керамического сырья и выбором рационального способа приготовления сырцовых изделий;



— разработанная технологическая схема керамических материалов с матричной структурой на основе непластичного техногенного сырья обеспечивает при использовании золы-уноса ТЭС получение стеновой керамики прочностью 10 МПа, относящейся по средней плотности к группе условно эффективных материалов.

Перспективы дальнейших исследований

В перспективе для повышения прочностных характеристик и гарантированного получения условно-эффективных и эффективных стеновых материалов на основе золы-уноса ТЭС необходимо провести исследования, обеспечивающие жидкофазное спекание в матрице композита и образование в зольных гранулах кластеров с межфазным взаимодействием на границе контактных зон при обжиге.

Библиографический список

1. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ президента РФ от 4 июня 2008 года № 889 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <http://docs.cntd.ru>, свободный (дата обращения 10.08.2024).
2. Давидюк, А. Н. Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий / А. Н. Давидюк, Г. В. Несветаев // Жилищное строительство. – 2010. – № 3. – С. 16-20. – EDN MSUUJZ.
3. Energy-efficient expanded clay concrete wall block / A. Proskurovskis, L. G. Nazinyan, A. A. Tarasova, S. V. Belyaeva // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2019. – No. 3(78). – P. 23-35. – DOI 10.18720/CUBS.78.2. – EDN CWMRNO.
4. Гайшун, Е. С. Технология производства высокоэффективных керамических камней на основе продуктов переработки угольных отвалов / Е. С. Гайшун, Х. С. Явруян, В. Д. Котляр // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова, Пенза, 16–18 октября 2018 года / Под общей редакцией М.О. Коровкина, Н.А. Ерошкиной. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2018. – С. 18-26. – EDN MGNDJX.
5. Котляр, В. Д. Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования / В. Д. Котляр, Ю. В. Терехина, Ю. И. Небежко // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 6-7. – EDN NQUACN.
6. Козлов, Г. А. Высокоэффективная стеновая керамика на основе пористо-пустотелого силикатного заполнителя / Г. А. Козлов, В. Д. Котляр, А. В. Котляр // Научное обозрение. – 2014. – № 10-2. – С. 392-395. – EDN TEWVET.
7. Габидуллин, М. Г. Влияние размера пор на термическое сопротивление пористой керамики / М. Г. Габидуллин, Р. З. Рахимов // Строительные материалы. – 2005. – № 11. – С. 49-53. – EDN HZIRMZ.
8. Ратько, А. И. Влияние добавок на пористую структуру керамики на основе кристаллического SiO₂ / А. И. Ратько, А. И. Иванец, С. М. Азаров // Неорганические материалы. – 2008. – Т. 44, № 7. – С. 883-889. – EDN JHKOQD.
9. Исследования структуры и свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород / А. Ю. Столбоушкин, А. И. Иванов, В. В. Шевченко [и др.] // Строительные материалы. – 2017. – № 12. – С. 7-13. – EDN YMKFAN.
10. Столбоушкин, А. Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья / А. Ю. Столбоушкин // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 10-15. – EDN NQUADH.
11. Бурлаков, Г.С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей: учебник для вузов / Г.С. Бурлаков // – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
12. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. - М.: Стройиздат, 1980. - 399 с.
13. Тугоплавкие теплоизоляционные материалы, полученные способами пено-и газообразования / Е. М. Дятлова, С. А. Гайлевич, Г. Я. Миненкова, С. Л. Радченко // Стекло и керамика. – 2002. – № 2. – С. 20-23. – EDN VROYSK.
14. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов: Библиотека научных разработок и проектов МГСУ, 2011. – 264 с.
15. Кондратенко, В. А. Проблемы кирпичного производства и способы их решения / В. А.



- Кондратенко, В. Н. Пешков, Д. В. Следнев // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 43-45. – EDN IBEECZ.
16. Иванов, А. И. Принципы создания оптимальной структуры керамического кирпича полусухого прессования / А. И. Иванов, А. Ю. Столбоушкин, Г. И. Стороженко // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 65-71. – EDN TQAUBD.
17. Управление качеством строительной и теплоизоляционной керамики путем проектирования состава массы / Т. В. Вакалова, В. М. Погребенков, В. И. Верещагин, И. Б. Ревва // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 27-30. – EDN JVOHRL.
18. Гудков, Ю. В. Пути повышения эффективности производства изделий стеновой керамики / Ю. В. Гудков, В. Н. Бурмистров // Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С. 14-15. – EDN JVOGSL.
19. Кройчук, Л. А. Использование нетрадиционного сырья для производства кирпича и черепицы в Китае / Л. А. Кройчук // Строительные материалы. – 2003. – № 7. – С. 8-9. – EDN IBEJKR.
20. Особенности грануляции техногенного и природного сырья для стеновой керамики / А. Ю. Столбоушкин, А. И. Иванов, В. Н. Зоря [и др.] // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 85-89. – EDN PATCTJ.
21. Ашмарин, Г. Д. Состояние и перспективы развития производственной базы керамических стеновых материалов в России / Г. Д. Ашмарин // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 96. – EDN HUIJTV.
22. Сайбулатов, С. С. Производственный опыт улучшения качества керамического кирпича полусухого прессования / С. С. Сайбулатов // Строительные материалы. – 2001. – № 12. – С. 16-17. – EDN IBDZTX.
23. Столбоушкин, А. Ю. Использование отходов теплоэнергетики для снижения средней плотности стеновых керамических материалов с матричной структурой / А. Ю. Столбоушкин, Е. В. Истерин, О. А. Фомина // Строительные материалы. – 2024. – № 4. – С. 13-19. – DOI 10.31659/0585-430X-2024-823-4-13-19. – EDN TPRBIP.

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

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 69.059.14 : 726:2-523.4

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_63

ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ИОАННО-БОГОСЛОВСКОГО СОБОРА В ГОРОДЕ САРАНСК

© Авторы 2024

SPIN: 476-8066

ЛАВРОВА Ольга Владимировна

кандидат технических наук, доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства*

(Россия, Пенза)

ЖЕЛТОВА Марина Андреевна

специалист

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства*

(Россия, Пенза)

Аннотация. В статье рассмотрено обследование состояния объекта культурного наследия, Иоанно-Богословского собора в г. Саранск. Обследование показало повреждение несущих конструкций свода. Произведен расчет поврежденных конструкций с помощью программного комплекса ЛИРА-САПР. На основании анализа результатов расчета даны рекомендации по усилению конструктивных элементов здания.

Ключевые слова: объект культурного наследия; своды; обследование; расчет; усиление; перемещения

Для цитирования: Обследование состояния объекта культурного наследия Иоанно-Богословского собора в городе Саранск / О.В. Лаврова, М.А. Желтова // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 63-66. doi 10.51608/26867818_2024_3_63

Original article

EXAMINATION OF THE STATE OF THE CULTURAL HERITAGE OBJECT OF THE ST. JOHN THE EVANGELIST CATHEDRAL IN SARANSK

© The Author(s) 2024

LAVROVA Olga Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

ZHELTOVA Marina Andreevna

Specialist

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

Abstract. The article considers an examination of the state of the cultural heritage object, St. John the Evangelist Cathedral in Saransk. The examination showed damage to the supporting structures of the vault. Calculation of damaged structures was carried out using the LIRA-FEM software complex. Based on the analysis of the calculation results, recommendations for strengthening the structural elements of the building are given.



Keywords: cultural heritage object; vaults; examination; calculation; strengthening; movement

For citation: Lavrova O.V., Zheltova M.A. Examination of the state of the cultural heritage object of the St. John the Evangelist cathedral in Saransk // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 63-66 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_63

29 февраля 2024 года Президент России В. В. Путин обратился к Федеральному Собранию. В этом обращении была затронута тема сохранения и использования объектов культурного наследия:

«Старинные здания, усадьбы, храмы – это зримое воплощение нашей национальной идентичности, неразрывной связи поколений. Прошу Правительство, парламентариев, профильные комиссии Госсовета с участием общественности, конечно, проанализировать нормативную базу в сфере охраны и использования объектов культурного наследия. Надо устранить явно избыточные, противоречивые требования, из-за которых порой памятник разрушается на глазах, а формально, по закону оперативно принять меры по его спасению невозможно.

Предлагаю сформировать долгосрочную программу сохранения объектов культурного наследия России. Рассчитываю, что мы примем её на 20 лет. Нужно предусмотреть меры поддержки граждан, компаний, общественных объединений, которые готовы вкладывать свой труд, время и средства в восстановление памятников.»

Так вопрос об обследовании состояния и сохранении объектов культурного наследия является весьма актуальным в наше время. Этой проблеме уделяется всё больше внимания.

Нами было проведено обследование объекта культурного наследия Иоанно-Богословского собора в г. Саранск визуально-инструментальным методом в соответствии с СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Москва. 2004 г.».

В ходе визуального обследования в соответствии с ГОСТ Р 55567-2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования» и ГОСТ 31937.2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» сделаны выводы о техническом состоянии конструкций здания.

В ходе визуального обследования в сводах были обнаружены дефекты в виде трещин. Принято решение выполнить статический расчёт арочного свода над трапезной в программе ЛИРА-САПР.

Для определения геометрических характеристик свода были проведены обмеры с

помощью геодезической рейки и рулетки, а для определения параметров материалов были изъяты образцы и проведены лабораторные испытания, в ходе которых установлено, что:

- Своды выполнены из глиняного кирпича пластического формирования на известково-песчаном растворе;
- Толщина кладки сводов равна 270мм;
- Марка глиняного кирпича пластического формирования: М75
- Марка известково-песчаного раствора: М25

На основании полученных данных определены жесткостные характеристики:

Согласно таблице 6.1 СП 15.13330.2020 расчётное сопротивление кладки сжатию – $R=1,1$ МПа.

При назначении жёсткости конечных элементов были приняты следующие значения:

- Удельный вес кирпичной кладки свода $R_0 = 1,8$ т/м
- Модуль упругости кирпичной кладки свода $E = 1760$ МПа = 176000 т/м^2 , определенный по формуле в соответствии с п. 6.23 СП 15.13330.2020:

$$E = 0,8E_0,$$

где E_0 – начальный модуль деформации кирпичной кладки принимаемый в соответствии с п. 6.24

$$E_0 = \alpha Ru,$$

где α – упругая характеристика кладки, принимаемая по табл. 6.16

Ru – средний предел прочности кладки при сжатии принимаемый в соответствии с п. 6.23

$$Ru = kR,$$

где $k=2$ принимаемый по табл. 6.15

R – расчетное сопротивление кладки при сжатии.

Таким образом,

$$E = 0,8 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 1,1 = 1760 \text{ МПа} = 176000 \text{ т/м}^2$$

Принимая линейную зависимость между напряжениями и деформациями для каменной кладки, как изотропного материала, получаем величину коэффициента Пуассона: $\nu=0,25$

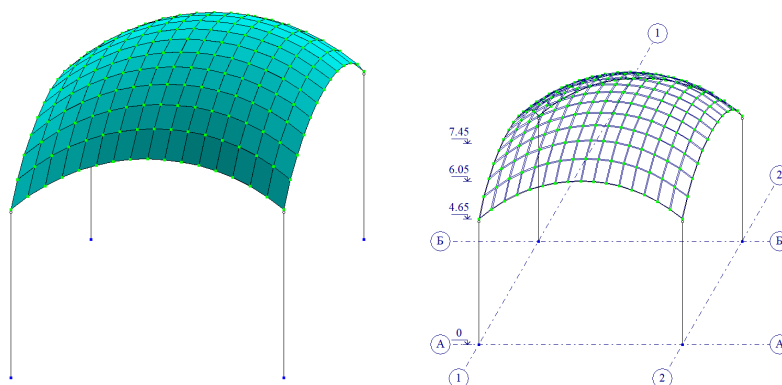


Рис. 1. Расчётная схема свода

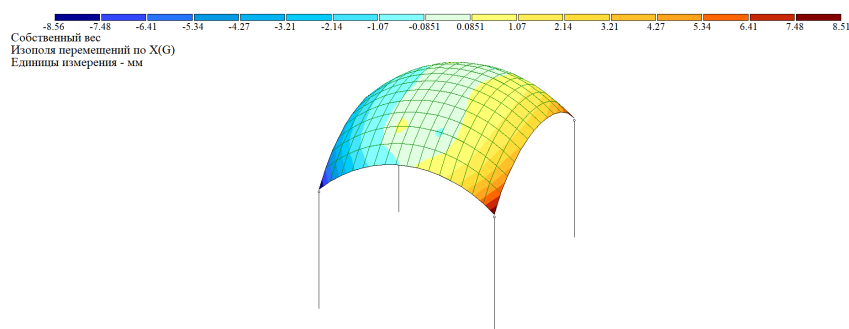


Рис. 2. Значения горизонтальных перемещений в направлении оси «X» от собственного веса

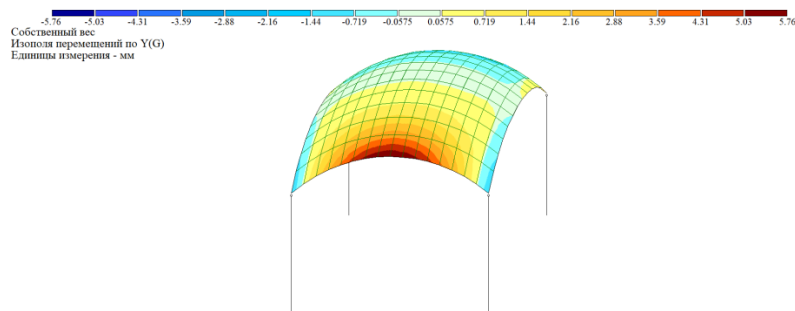


Рис. 3. Значения горизонтальных перемещений в направлении оси «Y» от собственного веса

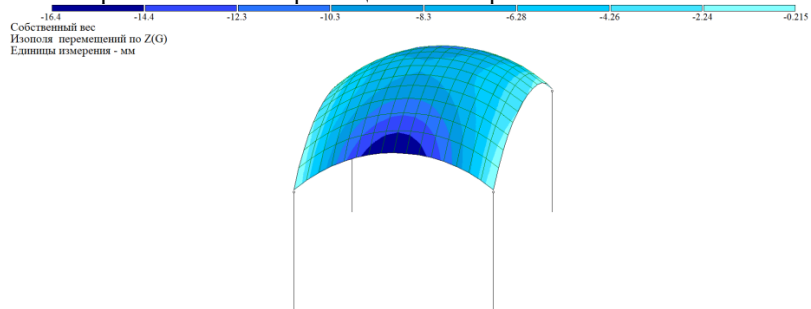


Рис. 4. Значения вертикальных перемещений в направлении оси «Z» от собственного веса

Шаг колонн в продольном направлении – 5,3м;
Шаг колонн в поперечном направлении – 7,55м;
Высота колонн – 4,65м;
Толщина кирпичной кладки колонн – 1,7м,
свода – 0,27м, арка – 0,5м.

На свод действуют постоянные нагрузки от собственного веса.

Равномерно распределенные нагрузки от собственного веса конструкций учитываются расчетной программой автоматически с суммарным коэффициентом $\gamma = \gamma_f \cdot \gamma_n = 1,1 \cdot 1,00 = 1,100$

По результатам статического расчёта согласно СП 20.13330.2016 сделали выводы о допустимости перемещений:



- Максимальное абсолютное горизонтальное перемещение от собственного веса составляет $\Delta x = 8,56$ мм на отметке 4,650 м, что не превышает предельное значение. Коэффициент запаса равен 77%;
 - Максимальное абсолютное горизонтальное перемещение конструкций от собственного веса составляет $\Delta y = 5,76$ мм на отметке 6,05 м, что не превышает предельное значение. Коэффициент запаса равен 84,6%;
 - Максимальное вертикальное перемещение (прогиб) свода от собственного веса $f_{max} = 16,4$ мм. Относительный прогиб свода пролетом $L = 7,55$ м составит $f/l = 16,4 / (7,55 \cdot 10^3) = 0,00217$, что близко к предельному, равному 0,002.
 - Повреждения, вызванные вертикальными перемещениями, не соответствуют эстетико-психологическим требованиям по СП 20.13330.2016.
- На основании визуального обследования и выполненного статического расчёта в программе ЛИРА-САПР разработаны рекомендации по устранению дефектов конструкций, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендации по устранению дефектов конструкций

№ п/п	Конструктивные элементы	Вид мероприятия устранения дефектов
1.	Фундаменты	Выполнить ремонт кирпичной кладки путём устройства железобетонной защитной рубашки из токрет бетона толщиной 70 мм и устройство гидроизоляции
2.	Наружные стены	Выполнить ремонт кирпичной кладки путём вычинки и горизонтальную отсечную гидроизоляцию путём инъектирования.
3.	Внутренние стены и колонны	Выполнить горизонтальную отсечную гидроизоляцию путём инъектирования.
4.	Перекрытия	Выполнить ремонт кирпичной кладки путём инъектирования трещин и устройства железобетонной защитной рубашки из токрет бетона толщиной 40 мм по нижней и верхней поверхностям сводов. Выполнить замену утеплителя.
5.	Кровля:	Выполнить поэлементный ремонт крыши с заменой стропильной конструкции, обрешётки, медного листа на фальцевом соединении в шашку. Выполнить замену архитектурного декора и элементов крыши. Обработать деревянные конструкции огнебиозащитным составом для обеспечения огнезащитных свойств по II группе.
6.	Входные группы	Выполнить демонтаж существующих входных групп и устройство новых из монолитного железобетона.
7.	Внутренняя отделка	Ремонт, восстановление.
8.	Наружная отделка	Ремонт, восстановление.
9.	Полы	Выполнить демонтаж существующих полов и устройство новых

Выполнение рекомендаций, приведенных в таблице 1, будет способствовать приведению здания к нормативному уровню технического состояния.

Библиографический список

1. Послание Президента Федеральному Собранию от 29.02.2024 г. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585>
2. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Москва. 2004 г.»
3. ГОСТ Р 55567-2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования»
4. ГОСТ 31937.2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»
5. СП 15.13330.2020 «СНиП П-22-81* Каменные и армокаменные конструкции»
6. СП 20.13330.2016. «Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*»

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

Статья поступила в редакцию 13.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 13.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья

УДК 624.01/.07

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_67

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С МАЛЫМ ПРОЛОТОМ СРЕЗА

© Авторы 2024
SPIN: 8911-0460

ЛАСЬКОВ Николай Николаевич
доктор технических наук, профессор
*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства
(Россия, Пенза)*

SPIN: 476-8066

ЛАВРОВА Ольга Владимировна
кандидат технических наук, доцент
*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства
(Россия, Пенза)*

Аннотация. В статье рассмотрено влияние поперечного армирования на прочность по сжатой полосе бетона балок с малым пролетом среза. Произведен анализ результатов испытаний балок с разным количеством и видом поперечной арматуры. Предложена зависимость по оценке прочности, выполнено сопоставление расчетных и опытных величин несущей способности при изменении процента поперечного армирования.

Ключевые слова: балки с малым пролетом среза; расчет; прочность; наклонная полоса бетона; поперечная арматура

Для цитирования: Оценка влияния поперечного армирования на прочность железобетонных балок с малым пролетом среза / Н.Н. Ласьков, О.В. Лаврова // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 67-70. doi 10.51608/26867818_2024_3_67

Original article

IMPACT ASSESSMENT OF TRANSVERSE REINFORCEMENT ON THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH A SMALL SECTION SPAN

© The Author(s) 2024

LASKOV Nikolay Nikolaevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*Penza State University of Architecture
and Construction (Russia, Penza)*

LAVROVA Olga Vladimirovna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*Penza State University of Architecture
and Construction (Russia, Penza)*

Abstract. The article considers the influence of transverse reinforcement on the strength of compressed strip of concrete beams with a small section span. The results of tests for beams with different number and type of crossbar were analyzed.

The proposed dependence on strength evaluation, comparison of calculated and experimental values of load capacity at change of percentage of transverse reinforcement is performed.

Keywords: concrete beams with a small section span; calculation; strength; concrete inclined stripes; transverse reinforcement

For citation: Laskov N.N., Lavrova O.V. Impact assessment of transverse reinforcement on the strength of reinforced concrete beams with a small section span // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 67-70 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_67

Опытные образцы коротких балок проектировались прямоугольного сечения с размерами 25х40 см. Все образцы имели одинаковую длину – 60 см, всего изготовлено 10 шт. Один образец имел только продольную растянутую арматуру, шесть образцов армировались горизонтальными, два вертикальными хомутами и один образец содержал два вида поперечной арматуры – горизонтальные и вертикальные хомуты. Все образцы коротких балок имели одинаковое количество растянутой продольной арматуры. Характеристика опытных образцов приведена в таблице 1. На рис.1 показаны опалубочные размеры и виды армирования опытных образцов коротких балок.

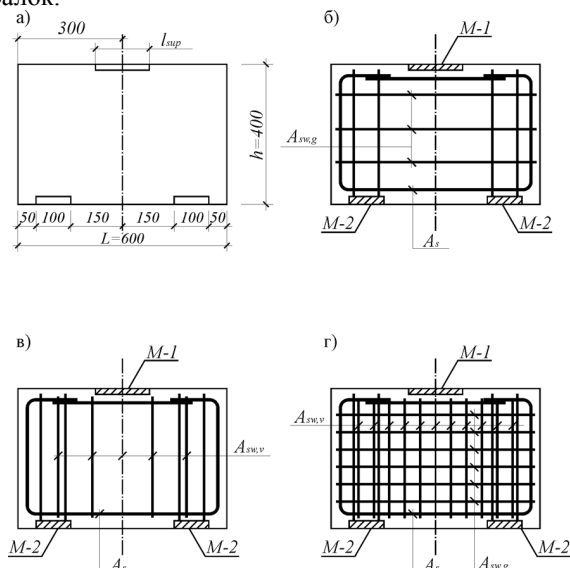


Рис. 1. Размеры и армирование коротких балок
а) опалубочный чертеж; б) образцы Б-1, Б-5, Б-7;
в) образцы Б-2, Б-4; г) образец Б-6

В первой группе образцов (серия 1), в образцах Б-1÷Б-6, в которых изучалось влияние поперечной арматуры, характер образования и развития трещин одинаков. Трещины образовывались в следующей последовательности. Сначала появились вертикальные трещины в растянутой зоне, в середине пролета балки. Величина нагрузки, соответствующая возникновению этих трещин, назовем их трещинами Т-Р, составляла $0,45 \div 0,6$ от разрушающей. С дальнейшим увеличением уровня нагружения трещины типа Т-Р либо слабо, либо вовсе не развивались и к моменту разрушения их длина составляла четвертую, в некоторых случаях, третью часть от высоты балки, а ширина раскрытия – 0,05 мм.

После образования вертикальных трещин с дальнейшим увеличением нагрузки появлялись наклонные трещины. Общим для них является то, что они имели примерно одинаковый угол наклона, характеризуемый наклоном линии, соединяющей центр приложения силы с центром опорной реакции. Отличались эти трещины тем, что одни после образования не увеличивались по длине и ширине, другие – наоборот активно развивались с ростом нагрузки, либо их развитие являлось менее активным, но при этом они «обрастали» серией подобных им трещин. Они располагаются на участке бетона между грузовой и опорной площадкой. Те наклонные трещины, которые после образования не увеличиваются, назовем их трещинами Т-Г, находятся, как правило, с внешних сторон опорной и грузовой площадки, ширина их раскрытия колеблется в пределах 0,04-0,06 мм, а длина, в одних случаях, составляла $0,2 \div 0,35$, в других – $0,4 \div 0,5$ от высоты балки, то есть в этом случае верхние и нижние трещины практически сливались воедино, ширина раскрытия – 0,07-0,1 мм. Другие наклонные трещины, назовем их Т-0, располагались внутри зоны бетона, находящейся между грузовой и опорной площадкой, длина их в момент образования составляла 0,3-0,5 от высоты балки, ширина увеличилась в пределах 0,05-0,15 мм. Трещина типа Т-0, как правило, появлялась в средней части балки, а затем росла в сторону приложения опорной реакции.

Момент образования единичных наклонных трещин соответствовал нагрузке, равной $0,4 \div 0,65$ от разрушающей, момент активного развития наклонных трещин наступал при нагрузке 0,85-0,9 от разрушающей.

На основе проведенных исследований разработана методика оценки работы поперечной арматуры балки при расчете прочности по наклонной полосе бетона. Каждый вид поперечной арматуры, попадая в пределы сжатой наклонной полосы, оказывает препятствие развитию поперечных деформаций и тем самым косвенно участвует в работе сжатой полосы. Можно предположить, что степень участия определяется проекцией усилия в каждом виде арматуры на поперечную ось наклонной полосы. В результате в зависимости от угла наклона расчетной полосы можно определить эффективный вид поперечной арматуры. Однако сопоставление результатов расчета с учетом косвенной работы арматуры и опытов говорит о том, что опыт превышает расчет в среднем в 1,4 раза. Это говорит о том, что работа арматуры учитывается не в полной мере.

Была разработана гипотеза о том, что поперечная арматура, располагаясь под углом к направлению наклонной полосы бетона, частично работает косвенно, как было сказано выше, а также частично принимает прямое участие, работая вдоль наклонной полосы бетона. Степень прямого участия арматуры в работе расчетной полосы может также определяться проекцией усилий в соответствующей арматуре на продольную ось полосы. В этом случае по величине проекций также можно судить об эффективном виде арматуры.

Таким образом, работа поперечной арматуры складывается из косвенного и прямого участия ее в работе сжатой наклонной полосы. Результаты испытаний коротких балок с горизонтальными и наклонными хомутами показали повышение несущей способности в 1,26; 1,41 и 2,2 раза, что подтверждает участие в работе сжатой полосы поперечной арматуры, при этом степень участия в зависимости от вида арматуры различна.

На основе сказанного разработаны зависимости (1, 2 и 3) для оценки прямой и косвенной работы арматуры.

$$F_s = 2[T_{sw} + N_{sw}] \sin \alpha, \quad (1)$$

где N_{sw} – усилие в арматуре в результате прямого участия в работе наклонной сжатой полосы;

T_{sw} – усилие в арматуре в результате косвенного участия в работе наклонной сжатой полосы, определяемые по формулам

$$\begin{aligned} T_{sw} &= \varphi_{sw} \varphi_s \mu_{sw} R_s b l_b \sin \theta, \\ N_{sw} &= \varphi_{sw} \mu_{sw} R_s b l_b \cos \theta, \end{aligned} \quad (2,3)$$

где θ – угол между направлением наклонной полосы и соответствующим видом поперечной арматуры, рис.2.



Рис.2. Схема участия поперечной арматуры в работе наклонной сжатой полосы

а) вертикальных хомутов; б) горизонтальных хомутов

Расчетная зависимость для определения прочности сжатой наклонной полосы с учетом прямой и косвенной работы арматуры будет иметь вид

$$F \leq 2\varphi_{b1}\varphi_b R_b b l_{sup} + F_s, \quad (4)$$

где F_s – усилие, воспринимаемое поперечной арматурой, определяемое по зависимостям (1-3).

Сопоставление результатов расчета по зависимостям (1; 2; 3) с опытами, приведенное на

графике (рис.3) показывает, что предлагаемая методика в целом хорошо описывает характер работы поперечной арматуры и согласуется с опытами, среднее отклонение от опыта составляет 1,09.

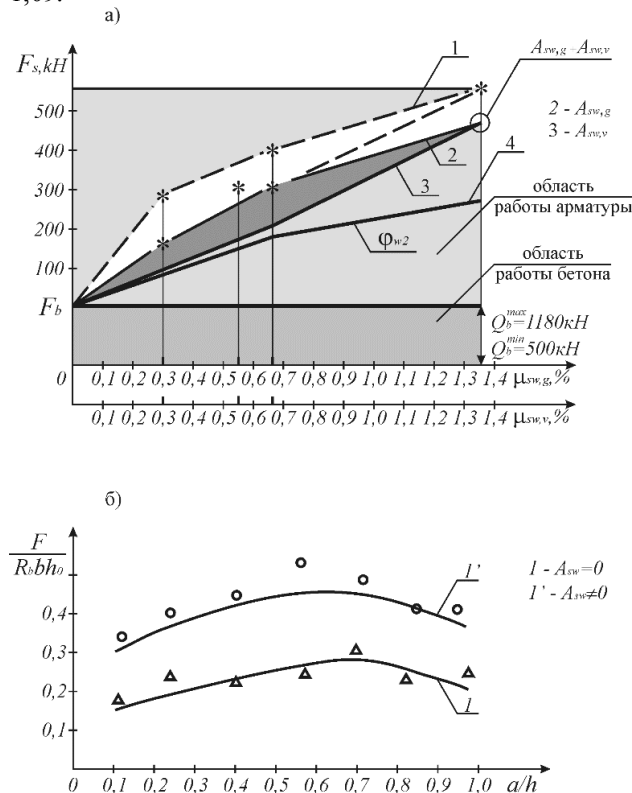


Рис.3. График сопоставления прочности коротких балок по сжатой зоне с учетом работы поперечной арматуры а) по данным опытов авторов;

б) по данным опытов института строительства Голландии; 1 – опыт; 2, 3 – расчет по зависимости (1); 4 – по зависимости СП

Рассмотрим еще одну методику учета работы поперечной арматуры, принятую в СП63.13330.2018[1], согласно которой влияние работы поперечной арматуры учитывается коэффициентом φ_{w2} , вводимым в условие прочности. Значение коэффициента κ_k определяется по эмпирической зависимости

$$\varphi_{w2} = 1 + 5\alpha(\mu_{sw,g} + \mu_{sw,v}), \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}; \quad \mu_{sw,g} = \frac{A_{sw,g}}{bS_g}; \quad \mu_{sw,v} = \frac{A_{sw,v}}{bS_v}$$

где

Для оценки этой методики расчета построен график сопоставления с опытами, показанный на рис.3, 4, из которых видно, что рассматриваемая зависимость является самой осторожной. Отклонение от опытных значений колеблется в пределах 1,03 и 1,43 раз в сторону запаса прочности.

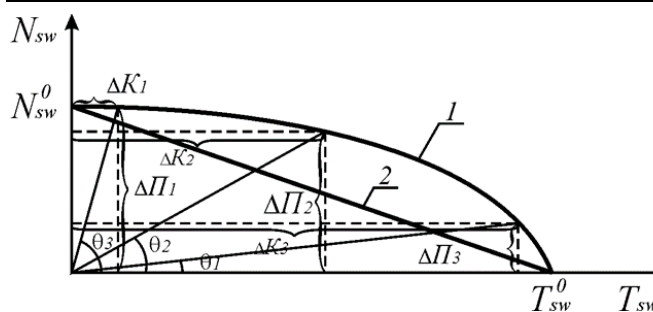


Рис.4. Графическая интерпретация зависимостей, оценивающих работу поперечной арматуры в коротких балках 1 - по зависимости (1); 2 - по зависимости (5)

Такой подход при некотором завышении запаса прочности осуществляет единый подход к оценке работы поперечной арматуры в коротких элементах, принятый нормами и является наиболее простым.

На основании вышеизложенного сделаны следующие выводы:

1. Предлагаемый метод расчета основывается на расчетной модели, отражающей действительную работу коротких балок.
2. Расчетные зависимости учитывают влияние основных факторов, а также особенности напряженно-деформированного состояния

коротких балок и позволяют оценивать прочность по сжатой и растянутой зонам. К достоинству предлагаемого метода расчета следует отнести разработанную методику оценки работы поперечной арматуры.

3. Для оценки предлагаемого метода расчета прочности произведено сопоставление расчетных величин разрушающих нагрузок с опытными значениями по мере изучения факторов. Анализ показывает, что предлагаемый метод расчета отражает характер работы коротких балок. Среднее отклонение составляет 1,1.

Библиографический список

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: 2019 – 161 с.
2. Лаврова, О. В. Методика расчета прочности железобетонных коротких балок, усиленных на основе каркасно-стержневой модели / О. В. Лаврова // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 4(41). – С. 98-102. – EDN WRJEBW.

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

Статья поступила в редакцию 13.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 13.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья

УДК 691.328.1

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения

DOI 10.51608/26867818_2024_3_71

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

© Авторы 2024

SPIN-код: 5368-0925

МУРАШКИН Василий Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент, кафедра "Железобетонные конструкции"

Самарский государственный технический университет

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

SPIN-код: 2918-4551

КОЗЛОВ Александр Вячеславович

кандидат технических наук, доцент, кафедра "Железобетонные конструкции"

Самарский государственный технический университет

(Россия, Самара, e-mail: kozalv1@yandex.ru)

Аннотация. Приведены методика испытаний и результаты испытания железобетонных балок на действие изгибающего момента, приведена методика расчета изгибающего момента, построенная на основе зависимости (σ - ϵ), для расчета конструкций после длительной эксплуатации, выполнено сравнение экспериментальных данных с представленной методикой и расчетом по действующим нормам.

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона; испытания; железобетон; относительные деформации; деформация; строительные конструкции

Для цитирования: Результаты испытания образцов железобетонных балок / В.Г. Мурашкин, А.В. Козлов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 71-74. doi: 10.51608/26867818_2024_3_71

Original article

TEST RESULTS OF REINFORCED CONCRETE BEAM SAMPLES

© The Author(s) 2024

MURASHKIN Vasily Gennadievich

candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Samara State Technical University

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

KOZLOV Alexander Vyacheslavovich

candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Samara State Technical University

(Samara, Russia, e-mail: kozalv1@yandex.ru)

Abstract. The methodology and outcomes of the tests of reinforced concrete beams on the effect of bending moment, the calculation method of bending moment that is based on the dependence (σ - ϵ) for the calculation of structures after long service, and the experimental data were compared with the present methodology and the results were calculated in accordance with the current norms.

Keywords: concrete deformation diagram; tests; reinforced concrete; relative deformations; deformation; building structures

For citation: Test results of reinforced concrete beam samples / V.G. Murashkin, A.V. Kozlov // Expert: theory and practice. 2024. No. 3 (26). p.71-74. doi 10.51608/26867818_2024_3_71

С каждым годом увеличивается количество как вновь построенных зданий и сооружений, так и тех, для которых подходят сроки очередного обследования технического состояния [10]. За период длительной эксплуатации изменяются прочностные и деформационные характеристики бетона, заложенные для вновь приготовленных бетонов при проектировании [3]. Поэтому требуются деформационные модели бетона, позволяющие учесть эти изменения. Такой моделью деформирования и методикой расчета на ее основе, является предложенная в [5; 8] модель деформирования бетона следующего вида.

$$\sigma(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon^b \cdot e^{\frac{-b \cdot \varepsilon}{p}} \quad (1),$$

где:

$\sigma(\varepsilon)$ – функций напряжений;

ε – текущие относительные деформации бетона;

a и b – коэффициенты, подобранные для бетона по его прочностным и деформативным характеристикам, полученным в процессе обследования.

Однако учитывая возможность, при необходимости, использовать указанную деформационную модель также для проектирования новых конструкций, исходя из практически полной идентичности кривых [6], полученных по выражению (1) и по СП 63.13330.2018, также будут интересны экспериментальные подтверждения получения достоверных результатов с помощью предложенной методики [5]

Для получения дополнительного подтверждения достоверности результатов, получаемых при расчете изгибаемых железобетонных элементов по методике, основанной на выражении (1) на кафедре «Железобетонных конструкций» АСА СамГТУ проведены соответствующие экспериментальные исследования и получены данные для сопоставления опытных и теоретически рассчитанных величин при кратковременном нагружении.

Для экспериментальных исследований было выполнено 3 серии (8, 10 и 5 штук, соответственно) образцов, в общем количестве 23 шт., отличающихся величиной прочности бетона, указанной в таблице 1.

Таблица 1

Серия	№ образца	R^{cp} МПа
1	1-8	19.91
2	1-10	20.51
3	1-5	20.30

Экспериментальные образцы размерами $L \times h \times b$: 1000мм x 120мм x 60 мм были выполнены из бетона класса В-15 с применением нижней продольной рабочей арматуры 1 стержень $\varnothing$ 8мм класса А-III и поперечной арматуры класса Вр-1 $\varnothing$ 4мм с шаг 60 мм, в крайних третях пролета. Арматурные стержни, используемые в качестве продольной рабочей арматуры, испытывались на разрывной машине Р-100 в соответствии с [2]. По результатам испытаний $\sigma_{\text{тек}}=380$ МПа, $\sigma_{\text{разр}}=395$ МПа, $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Установка для испытания образцов [7] на изгиб базируется на стационарной раме, состоящей из двух стоек и ригеля (рис 1). На ригеле рамы располагаются две опоры для испытуемого образца: одна опора шарнирно – неподвижная, другая – шарнирно – подвижная. Нагрузка на испытуемый образец создается гидравлическим домкратом и передается посредством двух ття, соединенных с траверсой. Точки приложения нагрузки расположены на расстоянии 250 мм от каждой опоры. Нагрузка на образец создается гидравлическим домкратом. Давление в гидравлическом домкрате измеряется с помощью манометра.



Рисунок 1. Установка для испытаний

Загружение образца производилось двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета, и осуществлялось ступенями в 2 кН.

Для измерения деформаций арматуры использовались тензодатчики омического сопротивления с регистрирующей аппаратурой АИД – 4м. На арматуру датчики наклеивались до бетонирования и изолировались.

Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 2.



Таблица 2

Номер образца	Разрушающая нагрузка кН	Деформации в арматуре ЕОД	Напряжения в арматуре МПа	Изгибающий момент при разрушающей нагрузке М _{эксп} кН м
1- 1	14.5	0.0019	380	1,81
1- 2	14	0.00191	382	1,75
1- 3	14.5	0.00191	382	1,81
1- 4	13.5	0.00191	382	1,69
1- 5	14	0.0019	380	1,75
1- 6	13.5	0.0019	380	1,69
1- 7	14	0.00191	382	1,75
1- 8	14	0.0019	380	1,69
2- 1	14	0.0019	380	1,75
2- 2	14	0.0019	380	1,75
2- 3	13.5	0.0019	380	1,69
2- 4	13.5	0.0019	380	1,69
2- 5	14.5	0.0019	380	1,81
2- 6	14.5	0.0019	380	1,81
2- 7	14.5	0.0019	380	1,81
2- 8	14.5	0.0019	380	1,81
2- 9	14	0.0019	380	1,75
2- 10	14	0.0019	380	1,75
3- 1	14	0.0019	380	1,75
3- 2	14	0.0019	380	1,75
3- 3	14	0.0019	380	1,75
3- 4	14.5	0.0019	380	1,81
3- 5	14.5	0.0019	380	1,81

Несущая способность испытанных образцов была рассчитана на основании методики представленной в [4-5] для каждой серии образцов.

Изгибающий момент, воспринимаемый сечением, равен:

$$M = Z \cdot \int_0^k (\sigma_b(\varepsilon) \cdot b) dx$$

где

k – высота сжатой зоны бетона;

$\sigma_b(\varepsilon)$ – напряжения в бетоне, заданные по выражению (1);

b – ширина сечения бетона;

A_s – площадь арматуры;

Z – плечо внутренней пары сил.

Плечо внутренней пары сил Z, определяем через отношение статического момента S фигуры образованной кривой функции напряжений $\sigma_b(\varepsilon)$ по высоте сжатой зоны к площади A этой фигуры:

$$Z = \frac{\int_0^k (\sigma_b(\varepsilon) \cdot b \cdot x) dx}{\int_0^k (\sigma_b(\varepsilon) \cdot b) dx} + (h_0 - k)$$

где h_0 – расчетная высота сечения.

Высота сжатой зоны при этом вычисляется из равенства усилий в сжатой зоне бетона Db и усилий в растянутой арматуре N_s , полученный на основе модели Прандтля:

$$Db(\varepsilon_b) = \int_0^k \sigma_x \left(\frac{\varepsilon_b}{k} \cdot x \right) \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{cases} N_s(\varepsilon_b) = \frac{\varepsilon_b}{k} \cdot (h_0 - k) \cdot E_s \cdot A_s & \text{если } \left(\frac{\varepsilon_b}{k} \cdot (h_0 - k) \cdot E_s \right) \in [0; R_s] \\ N_s(\varepsilon_b) = R_s \cdot A_s & \text{если } \left(\frac{\varepsilon_b}{k} \cdot (h_0 - k) \cdot E_s \right) \notin [0; R_s] \end{cases}$$

Полученные значения изгибающего момента $M_{\text{теор}}$, соответствующего несущей способности сечения балки для каждой серии занесены в таблицу 3.

Кроме того, для сравнения был выполнен расчет [4] предельного изгибающего момента $M_{\text{сп}}$ согласно методике СП 63.13330.2018 [9], также представленный в таблице 3.



№ серии	R _b МПа	A _s см ²	R _s МПа	M _{сп} кН·м	M _{теор} кН·м	M _{эксп} кН·м	$\frac{(7) - (5)}{(5)}$ %	$\frac{(7) - (6)}{(6)}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	19,91	0.503	380	1,756	1,740	1,742	-0,84	0,11
2	20,51	0.503	380	1,762	1,754	1,762	0,00	0,45
3	20,30	0.503	380	1,760	1,753	1,753	-0,45	0,00
						Среднее	-0,43	0,19

Критерий Фишера показал адекватность полученных на основании предложенной методики теоретических и экспериментальных значений для каждой серии при уровне доверительности $\alpha=0,05$, так как полученные значения критерия меньше критического значения в таблице квантилей F-распределения [1]:

$$f_1 = 1,057 < F_1 = 3,18;$$

$$f_2 = 1,078 < F_2 = 2,69;$$

$$f_3 = 1,11 < F_3 = 5,96.$$

Библиографический список

- Бронштейн И.Н., Семендяев И.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов - М.: Наука, 1981. – 544 с.
- ГОСТ 18100 – 85 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
- Оценка прочностных и деформационных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях и динамики их изменения во времени / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, В. И. Травуш [и др.] // Строительные материалы. – 2023. – № 11. – С. 28-38. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-819-11-28-38. – EDN EDLAQV.
- Козлов, А. В. Модель деформирования бетона для расчета с единых позиций нормально армированных и перearмированных изгибаемых железобетонных элементов : специальность 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Козлов Александр Вячеславович. – Самара, 2005. – 18 с. – EDN NIJTWN.
- Мурашкин, В. Г. Расчет несущей способности конструкций зданий текстильной промышленности / В. Г. Мурашкин, Г. В. Мурашкин, В. И. Травуш // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 5(383). – С. 222-228. – EDN RAPITW.
- Мурашкин, В. Г. "Стандартный" и "нестандартный" бетон: моделирование деформаций / В. Г. Мурашкин, Г. В. Мурашкин // Эксперт: теория и практика. – 2019. – № 3(3). – С. 7-12. – DOI 10.24411/2686-7818-2019-00001. – EDN TCLNYV.
- Мурашкин, Г.В. Лабораторный практикум по железобетонным конструкциям // Г.В. Мурашкин, А.И. Снегирева - М: Из-во АСВ, 2006. -120 с.
- Мурашкин, Г. В. Моделирование диаграммы деформирования бетона и визуализация напряженного состояния / Г. В. Мурашкин, В. Г. Мурашкин // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 году : Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. – Москва : Издательство АСВ, 2016. – С. 535-542. – EDN OTHNUB.
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. - М., 2018.
- СП 255.1325800.2016. Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения. - М.: Минстрой России, 2016. – 51 с.

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

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 624.07

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_75

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ПРИ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

© Автор 2024

SPIN: 7522-2356

AuthorID: 415941

ПРОХОРОВА Алла Валерьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительства,
строительных материалов и конструкций

Тульский государственный университет

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

Аннотация. Рассмотрены известные варианты моделирования взрывного воздействия на конструкции зданий и сооружений, а также исследования надежности и живучести строительных конструкций при запроектных нагрузках. Выполнены расчеты для семиэтажной шестипролетной железобетонной рамы при разных параметрах поперечного сечения колонн и балок с учетом вариантов взрывного воздействия с помощью метода конечных элементов и программы LS DYNA. Проведен подробный анализ повреждений отдельных конструкций и устойчивости каркаса в целом при заданных загружениях. Даются рекомендации по проектированию строительных конструкций для предотвращения прогрессирующего обрушения каркаса здания в целом.

Ключевые слова: моделирование взрывного воздействия на железобетонные конструкции; прогрессирующее обрушение элементов каркаса; исследование взрывоустойчивости железобетонных колонн и балок; строительная механика; строительные конструкции

Для цитирования: Прохорова А.В. Исследование живучести железобетонных конструкций каркаса многоэтажного здания при взрывных воздействиях // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 75-78. doi 10.51608/26867818_2024_3_75

Original article

STUDY OF SURVIVALITY OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES OF A MULTISTORY BUILDING UNDER EXPLOSIVE IMPACTS

© The Author(s) 2024

PROKHOROVA Alla Valeryevna

candidate of technical sciences, associate professor of department
of construction, building materials and structures

Tula State University

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

Abstract. The known variants of modeling the explosive effect on the structures of buildings and structures, as well as studies of the reliability and survivability of building structures under design loads, are considered. Calculations have been performed for a seven-story, six-span reinforced concrete frame with different cross-sectional parameters of columns and beams, taking into account explosive impact options using the finite element method and the LS DYNA program. A detailed analysis of the damage to individual structures and the stability of the frame as a whole under specified loads has been carried out. Recommendations are given on the design of building structures to prevent the progressive collapse of the building frame as a whole.



Keywords: modeling of explosive effects on reinforced concrete structures; progressive collapse of frame elements; investigation of explosion resistance of reinforced concrete columns and beams; construction mechanics; building structures

For citation: Prokhorova A.V. Study of survivability of reinforced concrete frame structures of a multistory building under explosive impacts // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 75-78 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_75

Техногенные воздействия различного характера часто становятся причинами аварийных повреждений элементов конструкций и разрушения здания в целом. Выбор эффективных мер для обеспечения надежности и живучести зданий и сооружений может быть основан на анализе повреждений несущих и ограждающих конструкций в результате ударных и взрывных воздействий [1-3].

Павленко А.О. и Краснощеков Ю.В. проанализировали данные по разрушению и степени повреждений элементов конструкций в результате аварийных взрывов. С точки зрения взрывозащиты для шарнирно-связевой схемы наиболее опасным является разрушение связей, которое приводит к обрушению существенной части здания или сооружения, поскольку образуется изменяемая шарнирная система [4].

Основным требованием, предъявляемым к несущим строительным конструкциям при аварийных воздействиях, является сохранение несущей способности [5]. Одним из вариантов повышения жесткости здания и его живучести является использование сталежелезобетонных элементов в каркасах многоэтажных зданий [6]. В работах [7-8] Седневым В.А. и Кошевой Е.И. определены виды и количество элементов несущих конструкций зданий, повреждение которых приводит к обрушению зданий.

Савин С.Ю., Федорова Н.В. и Емельянов С.Г. разработали алгоритм и провели численный анализ устойчивости фрагмента каркаса многоэтажного здания из панельно-рамных элементов с учетом потери устойчивости одной из колонн здания [9]. Описанная методика расчета позволяет провести проверку сопротивляемости элементов каркаса многоэтажного здания из железобетонных панельно-рамных элементов прогрессирующему обрушению.

В работе [10] освещается ряд экспериментальных исследований, которые проводились для строительных конструкций при запредельных состояниях. Авторы делают выводы о необходимости развития исследований в области живучести строительных конструкций при запроектных воздействиях с целью минимизации возможных рисков материальных и социальных потерь.

Основным инструментом при исследовании поведения строительных конструкций с учетом взрывного воздействия выбрано математическое моделирование. Применение метода конечных элементов (МКЭ) с использованием программы LS DYNA позволяет получить достоверные результаты поведения строительных конструкций при импульсных нагрузках [11].

Для проведения расчетов была принята порталная семиэтажная железобетонная рама с шестью пролетами. Высота этажа назначена 4,2 м, длины балок 6 м и 5,4 м. Расчетная схема является многоэтажной многопролетной железобетонной рамой, которая состоит из стоек и неразрезных ригелей и нагружена постоянной нагрузкой.

Для рамы типа 1 сечение колонны было принято 1000х1000, для типа 2 – 500х500, для типа 3 – 400х400. Сечение балок составляло 600х600 для рамы типа 1, 400х450 – для типа 2, 300х450 – для типа 3, длина балок была задана 6 м для рам типа 1 и 2, 5,4 м для рамы типа 3. Безразмерный параметр k вводится для определения влияния жесткости элементов конструкций, которые подвергаются взрывным нагрузкам

$$k = \frac{I_b / L_b}{I_k / L_k}, \quad (1)$$

где I_b – момент инерции сечения балки, L_b – длина балки, I_k – момент инерции поперечного сечения колонны, L_k – длина колонны.

Для продольного армирования балок использовалась арматура класса А500: в сжатой зоне по 3 стержня, в нижней зоне – 3 стержня в балках с шириной сечения 300 мм и 400 мм, 4 стержня в балках с шириной сечения 450 мм. В колоннах учитывалось армирование продольными рабочими стержнями: 8 стержней при размерах сечения 400х400 мм, 16 стержней – для сечения 500х500 мм, 24 стержня – для сечения 1000х1000 мм. Общий процент продольного армирования составил 2% для колонн и 1,5% для балок. Поперечные стержни класса А300 были расположены в каркасах с шагом 150 мм. Прочность бетона на сжатие была задана 30 МПа. Соединение колонн с фундаментом задавалось жестким.

Моделирование работы железобетона было проведено с использованием двухузловых конечных элементов для арматурной стали и трехмерных восьмиузловых сплошных шестигранных элементов для бетона. Между арматурной сталью и бетоном исключается проскальзывание. В качестве моделей поведения материалов в программе LS DYNA для бетона была выбрана модель MAT72 REL 3 и модель Plastic Kinematic для арматурных сталей.

Максимальное отраженное давление P_r и общий отраженный импульс i_r рассчитывались для выбранной комбинации для дистанции противостояния R и веса заряда w с учетом масштабированного расстояния z



$$Z = \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

Для проведения исследования был использован несвязный метод, эмпирические уравнения Кингери-Балмэша для установления для параметров взрывной нагрузки. Были использованы несколько вариантов воздействия взрывной нагрузки для разной массы заряда w в тротиловом эквиваленте: BB1 – 100, BB2 – 200, BB3 – 300, BB4 – 400, BB5 – 500, BB6 – 600 соответственно, дистанция противостояния составляла 10 м и учитывалась через масштабированное расстояние по формуле (2).

Зона распространения взрывного воздействия и степень повреждения конструкций зависит от масштабируемого расстояния и высоты здания. Для оценки повреждений в конструкциях важным параметром является импульс взрыва, который изменяется в зависимости от этажа и общей высоты здания. Импульс взрыва I определяется через пиковое избыточное давление взрыва P и продолжительность положительной фазы t_0 по формуле

$$I = \frac{1}{2} P t_0 \quad (3)$$

Были проведены расчеты для комбинаций из трех вариантов типоразмеров каркасов и шести способов взрывного воздействия, учитывалось давление от 700 кПа до 5000 кПа, импульс от 1500 кПа*м/с до 6000 кПа*м/с.

Для вариантов взрывного воздействия BB1 и BB1 на рамы 1 и 2 типоразмеров были отмечены только повреждения бетона в нижней части колонны первого этажа и опорных частях балок, расположенных в зоне взрыва.

При вариантах воздействия BB3 и BB4 получила повреждения колонна в непосредственной близости к источнику взрыва, балки имели повреждения на концах и в середине пролетов в пределах трех (для BB3) и четырех этажей (для BB4). Максимальные перемещения для элементов верхних этажей составили 6 мм и 8 мм.

При применении воздействия BB6 на раму 1 возникло прогрессирующее разрушение. Колонна первого этажа оказалась полностью разрушена через 50 мс после возникновения взрыва, что привело к постепенному обрушению каркаса.

В результате воздействия по варианту BB4 на раму 3 типа оказались повреждены все балки в первом пролете, колонны имели повреждения до третьего этажа. Рама в целом получила перемещение 10 мм в плоскости каркаса.

Повреждения конструкций каркаса типа 3 при вариантах воздействия BB5 и BB6 были схожи. Элементы каркаса, находившиеся в непосредственной близости к источнику взрыва, в случае BB6 подверглись прогрессирующему

разрушению, колонна первого этажа была полностью разрушена.

Общий анализ результатов воздействия взрывной нагрузки на элементы каркаса показывает, основная зона повреждений конструкций ограничивается 1-2 этажами и пролетами, прилегающими в зоне взрыва. При достаточно высокой несущей способности и жесткости конструктивных элементов воздействие взрыва по высоте может быть приостановлено, они могут сохранить работоспособность.

Таким образом, в большинстве случаев отмечаются повреждения бетона и нарушение сцепления бетона и арматуры, без прогрессирующего разрушения. Перераспределение усилий между ригелями каркаса и наличие дополнительных опор могут ограничить разрушение балок в первом пролете и предотвратить распространение повреждений. Выявленные особенности рекомендуется учитывать при проектировании многоэтажных каркасных зданий.

Библиографический список

1. Краснощеков, Ю. В. Основы проектирования конструкций зданий и сооружений / Ю. В. Краснощеков, М. Ю. Заполева. Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 294 с.
2. Клокова, Е. В. Выявление несущих конструкций каркаса здания, определяющих устойчивость здания против прогрессирующего обрушения / Е. В. Клокова, В. С. Федоров, В. Д. Кудрявцева // Матрица научного познания. – 2021. – № 4-1. – С. 46-54. – EDN ZVAYDO.
3. Сулиманова, З. Р. Методология определения прогрессирующего обрушения каркаса здания / З. Р. Сулиманова // Вектор научной мысли. – 2023. – № 4(4). – С. 270-272. – EDN XVJXVQ.
4. Павленко, А. О. Анализ повреждений конструкций зданий при взрывах / А. О. Павленко, Ю. В. Краснощеков // Техника и технологии строительства. – 2018. – № 3(15). – С. 19-23. – EDN VLQHIQ.
5. Однокопылов, Г. И. Оценка степени живучести ответственных строительных конструкций при ударно-волновом нагружении / Г. И. Однокопылов, Д. Ю. Саркисов, Е. А. Бутузов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 12. – С. 122-135. – DOI 10.18799/24131830/2018/12/28. – EDN YSBDHN.
6. Шлеенко, А. В. Преимущества применения сталежелезобетонных элементов в каркасах многоэтажных зданий при особых воздействиях / А. В. Шлеенко, И. А. Ломакин // Инновации и



- инвестиции. – 2023. – № 10. – С. 418-420. – EDN HBTVBR.
7. Седнев, В. А. Методика прогнозирования взрывоустойчивости жилых зданий при действии обычных средств поражения / В. А. Седнев, Е. И. Кошева // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1(71). – С. 137-147. – EDN ZDRKAT.
8. Седнев, В. А. Инженерные методики оперативного прогнозирования степеней разрушения жилых зданий и степени поражения жилой зоны при воздействии обычных средств поражения / В. А. Седнев, Е. И. Кошева // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2023. – № 3. – С. 45-56. – DOI 10.36535/0869-4176-2023-03-4. – EDN JDQSDC.
9. Савин, С. Ю. Анализ живучести сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий из железобетонных панельно-рамных элементов при аварийных воздействиях, вызванных потерей устойчивости одной из колонн / С. Ю. Савин, Н. В. Федорова, С. Г. Емельянов // Жилищное строительство. – 2018. – № 12. – С. 3-7. – EDN YSJWOL.
10. Алексейцев, А. В. Обзор методов и результатов экспериментальных исследований стальных и сталебетонных конструкций при особых воздействиях / А. В. Алексейцев, Н. С. Курченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 205-215. – DOI 10.22363/1815-5235-2018-14-3-205-215. – EDN XTUZDV.
11. Алиев А. В., Калинин А. А. Энергопоглощающая способность прямоугольной трехслойной пластины в условиях взрыва // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2013. – № 3(59). – С. 161-164. – EDN RBVFPZ.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 23.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 23.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья

УДК 691.17

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_79

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

© Авторы 2024
SPIN: 1658-0511

ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
Надежности и ремонта
Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)

SPIN: 6626-3274

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

ИСКАНДАРОВ Марат Хайруллович
аспирант
Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы разработки концептуального подхода к защите строительных металлических конструкций, который основан на вероятностно-статистическом методе управления свойствами лакокрасочных покрытий, и в общем виде, включает в себя схему влияния адгезии и когезии лакокрасочных покрытий на другие их свойства, факторную систему технологии создания лакокрасочных покрытий и построенную математическую модель оптимизации лакокрасочных покрытий, позволяющую в зависимости от назначения покрытия определять оптимальный состав лакокрасочных материалов. Применение системного подхода вероятностно-статистической концепции анализа и оптимизации инженерных решений позволяет рассматривать все компоненты и факторы, влияющие на долговечность покрытий, и учитывать их взаимодействие между собой. Это, в свою очередь, позволяет более полно и точно оценить влияние каждого фактора на свойства покрытий и оптимизировать их параметры. Применение представленного концептуального подхода позволит разрабатывать эксплуатационно стойкие защитные покрытия, с учётом индивидуальных условий их использования, а также осуществлять оценку покрытий по всем технологическим, эксплуатационным и технологическим требованиям.

Ключевые слова: строительные металлоконструкции; лакокрасочные покрытия; лакокрасочные материалы; вероятностно-статистический анализ; адгезионная прочность; долговечность

Для цитирования: Пчельников А.В., Пичугин А.П., Искандаров М.Х. Концептуальный подход к защите строительных металлических конструкций на основе вероятностно-статистического метода управления свойствами лакокрасочных покрытий // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 79-86. doi 10.51608/26867818_2024_3_79



CONCEPTUAL APPROACH TO THE PROTECTION OF BUILDING METAL STRUCTURES BASED ON PROBABILITY-STATIC METHOD FOR CONTROLLING THE PROPERTIES OF PAINT COATINGS

© The Author(s) 2024

PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

ISKANDAROV Marat Khairullovich

PhD Candidate

Novosibirsk State Agrarian University

(Russia, Novosibirsk)

Abstract. This article discusses the development of a conceptual approach to the protection of building metal structures, which is based on a probabilistic-statistical method for controlling the properties of paint and varnish coatings. In general, it includes a diagram of the influence of adhesion and cohesion of paint and varnish coatings on their other properties, a factorial system of creation technology paint and varnish coatings and a constructed mathematical model for optimizing paint and varnish coatings, which allows, depending on the purpose of the coating, to determine the optimal composition of paint and varnish materials. The use of a systematic approach to the probabilistic-statistical concept of analysis and optimization of engineering solutions allows us to consider all components and factors affecting the durability of coatings and take into account their interaction with each other. This, in turn, allows to more fully and accurately assess the influence of each factor on the properties of coatings and optimize their parameters. Application of the presented conceptual approach will make it possible to develop operationally resistant protective coatings, taking into account the individual conditions of their use, as well as to evaluate coatings according to all technological, operational and process requirements.

Keywords: building metal structures; paint and varnish coatings; paint and varnish materials; probabilistic-statistical analysis; adhesive strength; durability

For citation: Pchelnikov A.V., Pichugin A.P., Iskandarov M.Kh. Conceptual approach to the protection of building metal structures based on probability-static method for controlling the properties of paint coatings // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 79-86 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_79

Введение. Современные темпы роста количества строительных конструкций и изделий, увеличение объема производств и направленность государства на быстрые и эффективные пути импортозамещения, ввиду политических обстановок в мире, ставят перед отечественной промышленностью ряд сложных задач, которые требуют применения современного научно-технического подхода.

Для эффективного развития строительного материаловедения, необходимо рассматривать его как часть общей теории композиционных материалов. В виду этого, для нахождения наиболее эффективного решения практических инженерных и технико-экономических задач, верно, использовать результаты фундаментальных исследований в области теоретического обоснования преобразования вещества и энергии, методологии моделирования и т.д. Различные работы

исследователей [1-8] содержат ценную информацию о применении фундаментальных наук в строительном материаловедении. За счет изучения этих работ возможно получить новые знания и обозначить перспективные направления для разработки и оптимизации строительных материалов с учетом наиболее современных методов и подходов.

К лакокрасочным покрытиям, как и другим композиционным материалам, предъявляются высокие требования в плане соответствия эксплуатационным условиям. В связи с этим при разработке лакокрасочных покрытий важно применять комплексные (системные) подходы, которые направлены на решение конкретных инженерных задач:

– процесс создания лакокрасочных покрытий без оптимизации их структуры и свойств является нецелесообразным и неэффективным с



экономической точки зрения. По факту оптимизация должна быть нацелена на достижение требований к эксплуатации лакокрасочных покрытий на металлических конструкциях;

– с целью достижения оптимальных результатов необходимо проводить алгоритмизированные эксперименты и математическое моделирование, что позволит добиться оптимизации рецептурно-технологических решений. Таким образом, оптимальными должны быть как сами процессы создания лакокрасочных покрытий, так и процессы их экспериментального исследования и моделирования;

– оптимизация структуры, свойств и технологий создания композиционных материалов требует использования физико-химической механики и учета экономических критериев. В этом случае, для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать закономерности структурообразования и особенности различных материалов. Моделирование различных рецептурно-технологических вариаций, основанное только на эмпирических данных и без учета физических закономерностей, может ограничиться только достижением локальных целей, недостаточных для общей оптимизации.

Таким образом, перед лакокрасочной промышленностью, в современных экономических условиях, стоит ряд технических задач:

– создание лакокрасочных материалов с повышенными физико-механическими свойствами, прежде всего адгезией, в виду того, что это основное свойство покрытия, отвечающее за его долговечность. Также и другие свойства: изностойкость, твердость, прочность при ударе, изгибе и др.;

– создание лакокрасочных материалов с повышенными защитными свойствами (морозостойкость, устойчивость к перепаду температур, устойчивость к УФ-излучению, химическая стойкость, огнестойкость и др.);

– создание лакокрасочных материалов со специальными качествами (устойчивость к радиационным загрязнениям, антистатичность, теплозащита и др.).

При этом должны быть выдержаны технико-экономические условия и ограничения, что в свою очередь, содержит в себе постановку новых задач, в частности:

– снижение трудозатрат при производстве лакокрасочных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами;

– уменьшение времени изготовления при интенсификации технологических процессов;

– снижение удельного расхода материальных и энергетических ресурсов без ухудшения качества продукции;

– интенсивная и экологичная утилизация отходов лакокрасочной промышленности;

– охрана природы и окружающей среды от

разрушения и загрязнений, что является чрезмерно важным для лакокрасочной отрасли.

Таким образом, целью исследования являлось разработка системного подхода к формированию долговечных лакокрасочных покрытий для защиты строительных металлических конструкций.

Материалы и методы. Для решения обозначенных задач актуально применение вероятностно-статистической концепции анализа и оптимизации инженерных решений в области строительного материаловедения. Данная концепция объединяет системный подход, многофакторное математическое моделирование и алгоритмизированное планирование эксперимента с физико-химической механикой и общей теорией композиционных материалов.

Результаты и их обсуждение. С целью обеспечения высоких показателей долговечности лакокрасочных покрытий важно учитывать и адаптировать их свойства для конкретных условий эксплуатации. Различные свойства лакокрасочных покрытий в зависимости от условий эксплуатации имеют разную значимость [9-13].

Ключевым свойством покрытий является адгезия, то есть прочное сцепление покрытия с основой. Высокое значение показателя адгезии обеспечивает устойчивость покрытий к механическим и химическим воздействиям, предотвращает отслоение и образование трещин и т.д. Для достижения высокой адгезии необходимо правильно подготавливать поверхность перед нанесением покрытия, выбирать соответствующий грунт, эмаль и оптимальные параметры модификации выбранных материалов. Помимо адгезии, когезионные связи внутри самого покрытия также оказывают существенное влияние на его эксплуатационную стойкость. За счет когезии обеспечивается прочность связей в самом покрытии, а качество когезионных связей зависит от многих факторов, включая состав покрытия, применяемые материалы и методы нанесения и др. [9-13].

В связи с этим, свойства покрытий по связи с адгезией и когезией, возможно распределить на свойства, характеризующиеся адгезионно-когезионными связями (химическая стойкость, гидрофобность, стойкость к перепаду температур, морозостойкость, прочность к истиранию, ударная прочность, прочность на изгиб, огнестойкость, теплопроводность, антистатичность, электропроводность) и на свойства, не зависящие от когезионно-адгезионных связей (стойкость к УФ-излучению, твердость, эластичность, дезактивируемость, степень блеска, цвет (оттенок), шероховатость) (рисунок 1).

С учетом вышесказанного, управление параметрами свойств лакокрасочных покрытий позволяет достичь необходимой долговечности в зависимости от их условий эксплуатации. Однако важным условием является необходимость

принимать во внимание фактор влияния адгезии и когезии на остальные свойства.

На основании вышеизложенного, актуально решать вопросы оптимизации составов лакокрасочных материалов для обеспечения

покрытий заданными свойствами, которые в каждом конкретном случае будут определять долговечность покрытий. При этом необходимо учитывать влияние адгезионно-когезионных связей на формирование свойств лакокрасочных покрытий.



Рисунок 1 – Схема влияния адгезии и когезии на свойства лакокрасочных покрытий

Применение системного подхода вероятностно-статистической концепции анализа и оптимизации инженерных решений позволяет рассматривать все компоненты и факторы, влияющие на долговечность покрытий, и учитывать их взаимодействие между собой. Это, в свою очередь, позволяет более полно и точно оценить влияние каждого фактора на свойства покрытий и оптимизировать их параметры.

Решение задач оптимизации лакокрасочных покрытий за счет математического многофакторного моделирования позволит спрогнозировать долговечность лакокрасочных покрытий для различных условий эксплуатации без материальных и временных затрат, связанных с их испытаниями.

Для лакокрасочных покрытий адаптируется системный подход изготовления композиционных материалов, очень важный для развития современного материаловедения и прогрессивных технологий [3; 6].

Системный подход строится на трех важных аспектах, применяющихся в задачах анализа и оптимизации:

- материал O_m (материал как конечная продукция, передаваемая строителям);
- технология O_t (технологии в промышленности, производящей материалы и конструкции);
- разработка и исследование O_n (процессы разработки и исследования материалов и технологии как основы научно-технического прогресса в данной отрасли).

Данные аспекты можно представить в качестве частного случая при рассмотрении технологии создания лакокрасочных покрытий:

- материал $O_{лп}$ – конечная продукция, представляющая из себя лакокрасочное покрытие;
- технология O_t – технологии получения лакокрасочных покрытий;
- разработка и исследование O_n – процессы исследования свойств лакокрасочных материалов и покрытий, разработка составов лакокрасочных материалов, позволяющих получать долговечные лакокрасочные покрытия с определенным набором свойств.

В представленном контексте объекты ($O_{лп}$, O_t , O_n) рассматриваются как системы, функционирующие в определенном направлении. Их поведение оценивается путем учета M выходных факторов или откликов, образующих вектор Y_j , который представляет поведение системы в каждый момент времени t . Значения Y_j находятся в пределах от Y_{jmin} до Y_{jmax} для каждого j от 1 до M [3; 6].

Принципиальное изменение и поддержание поведения системы в стационарном состоянии при воздействии внешней среды осуществляется за счет управления уровнями входов или факторов X_i . Эти входы образуют K -мерный вектор, который может быть изменен в пределах факторного пространства, определенного границами X_{imin} до X_{imax} для каждого i от 1 до K . Границы задаются объективными возможностями фактора или нормативными значениями [6].



Таким образом, описанная концепция предполагает, что управляемые объекты функционируют в соответствии с определенными закономерностями, а изменение и поддержание их поведения обеспечивается через управление входными параметрами или факторами. Это, в свою очередь, позволяет поддерживать стабильность и целенаправленность работы системы в условиях внешних воздействий.

Относительно однородные с точки зрения целей анализа и оптимизации входы X_i и выходы Y_j целесообразно выделять в некоторые группы-подсистемы. На рисунке 2 схематично представлена

взаимосвязь между основными подсистемами технологии создания лакокрасочных покрытий. На блок-схеме технология представлена в виде сложной системы, в которой выделено, пять групп рецептурно-технологических факторов лакокрасочных материалов и три группы эксплуатационных факторов лакокрасочных покрытий (X_i –входные факторы). Блок-схема является адаптированным вариантом факторной системы технологии создания композиционных материалов [6] и учитывает специфику и особенности присущие технологии создания лакокрасочных покрытий.



Рисунок 2 – Факторная система технологии создания лакокрасочных покрытий

Подсистема 1. Входные рецептурно-технологические факторы лакокрасочных материалов:

– X_m – параметры режима модификации, направленного на улучшение структуры и свойств лакокрасочного материала. Один из основных факторов, влияющих на долговечность производимого покрытия. Модификация лакокрасочных материалов предусматривает на этапе его приготовления к работе введение в состав материала определённого количества

модификаторов направленного действия, что обеспечит получение требуемых свойств будущего лакокрасочного покрытия;

– X_n – параметры нанесения лакокрасочных материалов. Под этими параметрами понимаются все рабочие режимы при нанесении материалов на окрашиваемую поверхность (способ нанесения, количество слоев, скорость, давление и др.);

– X_{pm} – параметры полимеризации, то есть параметры приводящие лакокрасочный материал в лакокрасочное покрытие (из жидкого состояния в



отвержденное). К ним относятся процессы сушки;

– $X_{\text{пр}}$ – параметры приготовления лакокрасочных материалов. К этим параметрам относятся все этапы, связанные с приготовлением лакокрасочных материалов (пропорции смешивания готовых компонентов лакокрасочных материалов при их приготовлении к работе, режимы смешивания, вязкость приготовленного составов, условия в помещении и др.);

– $X_{\text{ки}}$ – параметры качества исходного лакокрасочного материала (наличие примесей, однородность, вязкость и др.).

Подсистема 2. Входные эксплуатационные факторы лакокрасочных покрытий:

– X_3 – параметры условий эксплуатации лакокрасочных покрытий, которые определяют применимость покрытий в каждом конкретном случае.

– X_k – конструктивные параметры лакокрасочных покрытий. Характеризуют такие параметры покрытий как толщина, цвет, масса, плотность и другие. Также оказывают влияние на долговечность получаемого покрытия. Данный фактор зависит от рецептурно-технологических факторов.

– $X_{\text{и}}$ – параметры условий исследования лакокрасочных покрытий (контроля качества покрытий, испытаний свойств и др.). Эти параметры оказывает значительное влияние на правильность (отсутствие систематических ошибок) и точность (минимизация случайных ошибок) информации [10] о свойствах получаемых лакокрасочных покрытий, по которой возможно сделать вывод о применимости покрытия и регулировании рецептурно-технологических факторов лакокрасочных материалов. Существенное значение параметры $X_{\text{и}}$ имеют при определении нормативных значений качества лакокрасочных покрытий для конкретных условий эксплуатации. Учет этих параметров особо необходим при решении задач моделирования и оптимизации.

На схеме (рисунок 2) стрелками показано прямое и обратное влияние факторов на качество лакокрасочных материалов и покрытий. Обратное подразумевает влияние на выбор факторов X значений необходимых для получения определенных свойств лакокрасочных покрытий, что особо важно учитывать при работе малярам-технологам.

Наиболее значимое взаимовлияние между факторами изображено штрихпунктирными линиями. Иерархическая структура влияния входных факторов X_i на выходные Y_j отражена в расположении их по вертикали (степень важности факторов определена для обозначения наиболее значимых факторов, изменяя параметры которых, возможно управлять долговечностью получаемого покрытия).

Неверный выбор параметров вышестоящих факторов может привести к нулевому эффекту от оптимизации нижестоящих факторов (например, неверный режим смешивания модифицирующих добавок нарушает структурообразование и показатели свойств получаемых лакокрасочных

покрытий).

Выходные факторы системы (Y_j) образуют четыре иерархически связанные группы, в совокупности характеризующие качество лакокрасочного покрытия:

– $Y_{\text{т}}$ – технологические показатели качества лакокрасочного материала, необходимые для оценки воздействия факторов нижних уровней на последующие процессы (операции) создания лакокрасочных покрытий, например влияние $X_{\text{ки}}$ на $X_{\text{пр}}$. Одними из важнейших показателей $Y_{\text{т}}$ являются однородность материалов и вязкость, которые будут в значительной степени влиять на процессы нанесения и полимеризации лакокрасочных материалов;

– $Y_{\text{с}}$ – структурные показатели лакокрасочного покрытия. К ним относятся показатели характеризующие наличие/отсутствие в покрытии несплошностей (трещины, поры), включений и их размеров, межмолекулярную прочность (когезия), величину шероховатости покрытия и др.;

– $Y_{\text{о}}$ – показатели качества, характеризующие выполнение лакокрасочным покрытием основного назначения на применяемой поверхности (конструкции). В данном случае предусматривается применение соответствующих лакокрасочных материалов эффективных и целесообразных по технико-экономическим критериям для данных условий эксплуатации [3];

– $Y_{\text{а}}$ – вероятностные показатели качества и долговечности лакокрасочного покрытия. Показатели, определяющие долговечность будущего лакокрасочного покрытия в результате варьирования показателей факторов. Наиболее информативный фактор, позволяющий судить о долговечности лакокрасочного покрытия.

Анализ факторной системы (рисунок 2) показывает, что число N факторов X , влияющих на результаты работы системы выходных факторов Y , достаточно велико. Однако, как правило, целенаправленное изменение системы Y ведется по ограниченному числу $K_{\text{тех}}$ факторов, которые, наиболее существенно влияют на тот или иной критерий оптимизации управления системой (в данном случае наиболее влияющие факторы на получаемые свойства лакокрасочных покрытий).

Остальные $N - K$ факторы, вместе с воздействиями внешней среды, образуют группу случайно-изменяющихся факторов ξ . Каждому моменту времени t в управляемой системе соответствует K -мерный вектор X (определенный X фактор), а разным моментам времени N – матрица X_t размера $N \times K$. При наличии в технологии создания лакокрасочных покрытий группы случайно изменяющихся факторов ξ , возможно говорить о поведении системы как стохастической (вероятностной) в которой случайный характер действует с необходимостью, а также в значительной мере определяет причинно-следственные связи [3]. Тогда выходные факторы Y_j можно назвать случайными величинами, в описании которых входят законы их распределения или оценки распределений [1-2].



Для решения оптимизационных задач композиционных материалов известно уравнение состояния, где каждый из выходов системы Y_j связан с факторами X зависимостью [3; 6]:

$$\Psi(Y_j, \Theta_\Psi, X_\Psi, \tau_\Psi, \xi_\Psi) = 0 \quad (1)$$

где Y_j – выходы системы;

Θ_Ψ – константы (коэффициенты);

X_Ψ – полный набор факторов;

τ_Ψ – моменты времени, которым характерны определенные состояния факторов;

ξ_Ψ – случайные величины (законы распределения случайных величин).

Уравнение 1 возможно применить для решения оптимизационных задач для лакокрасочных покрытий, как для системы частного случая, в результате построения математической модели вида:

$$F(Y_j, \Theta, X, \tau, \xi) = 0 \quad (2)$$

Построение математической модели оптимизации лакокрасочных покрытий с применением уравнения (2) позволит решать различные задачи для нахождения оптимальных составов лакокрасочных материалов для различных условий эксплуатации.

При разработке модели необходимо пользоваться факторной системой технологии создания лакокрасочных покрытий (рисунок 2) и выбирать наиболее значимые входные факторы, оказывающие влияние на качество получаемого покрытия, так как блок-схема дает четкое представление управление какими из факторов позволит получить наибольший эффект при разработке долговечного лакокрасочного покрытия. Наиболее значимым входным рецептурно-технологическим фактором для решения задачи повышения долговечности лакокрасочных покрытий является X_m , характеризующий параметры модификации лакокрасочных материалов, что и подтверждается рядом современных исследователей, занимающихся модификацией полимерных материалов [13-16]. Учитывая это и взаимовлияние на него других факторов просматривается перспектива эффективного решения данной задачи.

Для построения математической модели разработки нового лакокрасочного покрытия, отвечающего требованиям и условиям эксплуатации, возможно применять, принятую в кибернетике и широко распространенную в технике идею «черного ящика», под которой понимается абстрактная кибернетическая система, в которой доступны внешнему наблюдению и, следовательно, могут быть изменены только параметры «входа» ($X_m, X_n, X_{pm}, X_{pr}, X_{ki}, X_z, X_k, X_i$) и «выхода» (Y_t, Y_s, Y_o, Y_a), а внутренняя структура неизвестна [4, 7, 8, 10].

Заключение. Таким образом, применение представленного концептуального подхода к защите строительных металлических конструкций на основе

вероятностно-статистического метода управления свойствами лакокрасочных покрытий, позволит индивидуально подходить к разработке эксплуатационностойких защитных покрытий, с учётом условий эксплуатации, а также осуществлять оценку покрытий по всем технологическим, эксплуатационным и технологическим требованиям.

Библиографический список

1. Айвазян, С. А. Статистическое исследование зависимостей / С.А. Айвазян. – М.: Металлургия, 1968. – 227 с.
2. Баженов, Ю. М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона / Ю.М. Баженов, В.А. Вознесенский. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
3. Вознесенский, В. А. Статистические решения в технологических задачах / В.А. Вознесенский. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1968. – 232 с.
4. Дворкин, Л. И. Оптимальное проектирование составов бетона / Л.И. Дворкин. – Львов: Вищашк., 1981. – 159 с.
5. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
6. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А. Вознесенский, В.Н. Вывовой, В.Я. Керш [и др.]; под ред. д-ра техн. наук Вознесенского В.А. – Киев: Будівельник, 1983. – 144 с.
7. Половинкин, А. И. Методы инженерного творчества / А.И. Половинкин. – Волгоград: Изд-во ВПИ, 1984. – 365 с.
8. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1971. – 550 с.
9. Шаталов, А. А. Защитные композиции бетонных причальных сооружений / А. А. Шаталов, А. П. Пичугин, А. В. Пчельников. – Новосибирск : Издательство "ЦЭРИС", 2022. – 160 с. – ISBN 978-5-7007-0312-2. – EDN BZAQQX.
10. Концепция формирования свойств материалов для архитектурно-декоративного оформления / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 9(753). – С. 21-32. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-753-9-21-32. – EDN YDVSEQ.
11. Оценка эффективности использования нанодобавок в защитных покрытиях / А. П. Пичугин, А. В. Пчельников, В. Ф. Хританков, А. К. Туляганов // Строительные материалы. – 2023. – №



3. – С. 20-26. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-811-3-20-26. – EDN DTUEMK.
12. Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, Р. В. Луцик, С. Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 14-22. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_14. – EDN WIQQMF.
13. Логанина, В. И. оценка напряженного состояния лакокрасочных покрытий в зависимости от шероховатости их поверхности / В. И. Логанина, М. А. Светалкина, М. В. Арискин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2(770). – С. 36-43. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-770-2-36-43. – EDN THXKYI.
14. Строкова, В. В. Стабилизация наноразмерных частиц серебра для условий работы в составе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов / В. В. Строкова, П. С. Баскаков, К. П. Мальцева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 4. – С. 84-88. – EDN VRRFKJ.
15. Канаева, Н. С. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих / Н. С. Канаева, Д. Р. Низин, Т. А. Низина // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 3(18). – С. 42-46. – DOI 10.51608/26867818_2022_3_42. – EDN ERYPRN.
16. К вопросу модифицирования полимерных композитов / Л. Ю. Матвеева, М. И. Кожухова, В. М. Малиновкер, М. Ю. Дмитриев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 7(186). – С. 14-15. – EDN TAPWOT.

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

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 69.07

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_87

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТРАНЕНИЮ КОЛЛИЗИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ЗДАНИЙ

© Авторы, 2024

SPIN: 9629-5322

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: 1041-9513

ORCID: 0000-0002-6512-5803

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

Заслуженный изобретатель РФ, советник РААСН, доктор

технических наук, профессор кафедры ЖБК

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет «Сибстрин» (Россия, Новосибирск, e-mail:*

anpilovsm@gmail.com)

SPIN: 4159-8639

РОЩИНА Светлана Ивановна

советник РААСН, доктор технических наук, профессор

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г.

Столетовых (Россия, Владимир, e-mail: rsi3@mail.ru)

SPIN: 1144-6400

УСАНОВ Сергей Владимирович

кандидат технических наук, старший преподаватель

Кубанский государственный технологический университет

(Россия, Краснодар, e-mail: svusanov@gmail.com)

Аннотация. В последние десятилетия информационное моделирование стало одним из ключевых элементов строительной отрасли, обеспечив интеграцию различных разделов проектных решений в единую модель. В статье рассмотрены преимущества и недостатки использования информационных моделей. Особое внимание уделено коллизиям в BIM-проектировании, возникающим из-за несогласованности данных между различными разделами проектов. Процесс выявления и устранения коллизий проиллюстрирован на примере малоэтажного здания с использованием программных комплексов Navisworks и Revit. В рассмотренном случае пересечения в модели были обнаружены как между строительными элементами, так и между инженерными сетями. Приведены некоторые отечественные аналоги зарубежного программного обеспечения, внедрение которых даст возможность со временем полностью обеспечить технологический суверенитет в этой области. Отмечено, что BIM-технологии не только повышают точность проектирования, но и способствуют инновационному решению возникающих проблем, повышая эффективность строительства. В статье подчеркивается важность информационного моделирования как на этапе создания проекта, так в рамках последующей эксплуатации объекта, его роль в повышении качества проектирования, оптимизации строительно-монтажных работ, а также потенциал для дальнейшего совершенствования всех процессов, включая использование мобильных технологий для оперативного обмена информацией и коммуникации. Потенциальные выгоды оправдывают затраты, делают информационные модели необходимыми для поддержания высоких стандартов строительства в современных условиях.



Ключевые слова: информационное моделирование; трехмерные цифровые объекты; оптимизация расхода материалов; облачные вычисления; искусственный интеллект; конструктивные решения; качество проектов

Для цитирования: Практические подходы к устранению коллизий в информационных моделях зданий / Римшин В.И., Анпилов С.М, Рощина С.И., Усанов С.В. // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 87-94. doi 10.51608/26867818_2024_3_87

Original article

PRACTICAL APPROACHES TO THE RESOLUTION OF COLLISIONS IN BUILDING INFORMATION MODELS

© The Author(s) 2024

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)

ANPILOV Sergey Mikhailovich

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

Novosibirsk State Architectural and Construction University (Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

ROSCHINA Svetlana Ivanovna

Dr. of Technical, Prof.

Vladimir state university

(Krasnodar, Vladimir)

ROSCHINA Svetlana Ivanovna

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer

Kuban State Technological University

(Krasnodar, Russia, e-mail: svusanov@gmail.com)

Abstract. In recent decades, information modeling has become one of the key elements of the construction industry, providing integration of various sections of design solutions into a single model. The article considers the advantages and disadvantages of using information models. Particular attention is paid to collisions in BIM design, arising due to data inconsistency between different sections of projects. The process of identifying and eliminating collisions is illustrated in the example of a low-rise building using Navisworks and Revit software systems. In the considered case, intersections in the model were found both between construction elements and between engineering networks. Some domestic analogs of foreign software are given, the introduction of which will make it possible in time to fully ensure technological sovereignty in this area. It is noted that BIM-technologies not only increase the accuracy of design, but also contribute to innovative solutions to emerging problems, increasing the efficiency of construction. The article emphasizes the importance of information modeling both at the stage of project creation and in the subsequent operation of the facility, its role in improving the quality of design, optimization of construction and installation work, as well as the potential for further improvement of all processes, including the use of mobile technologies for rapid information exchange and communication. Potential benefits justify the costs, making information models essential for maintaining high standards of construction in modern conditions.

Keywords: Building Information Modeling; three-dimensional digital objects; material usage optimization; cloud computing; artificial intelligence; structural solutions; project quality

For citation: Practical approaches to the resolution of collisions in building information models / V.I. Rimshin, S.M. Anpilov, S.I. Roschina, S.V. Usanov // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 87-94 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_87



Введение

Создание информационных моделей объектов различного назначения стало широко применяться в строительной отрасли в конце прошлого века. Трехмерные цифровые объекты дали возможность получить в одном проекте данные, включающие архитектурно-планировочные, конструктивные и другие решения. В зарубежной литературе за этим подходом закрепилась аббревиатура BIM (Building Information Modeling).

Информационная модель (ИМ) охватывает не только процессы проектирования и возведения объекта, но и период его эксплуатации. При этом основным этапом зарождения ИМ является стадия разработки проекта, что освещено в российских [1-9] и зарубежных литературных источниках [10-24]. Многие крупные компании уже с начала 2000-х годов начали внедрять такие модели, оценив имеющиеся у них преимущества. В настоящее время информационное моделирование позволяет проводить анализ энергетической эффективности зданий, оптимизировать расход материалов, более точно прогнозировать общие затраты и сроки возведения объектов. Метод продолжает развиваться и внедрять новые технологии, такие как искусственный интеллект и облачные вычисления [25-27].

Также в числе преимуществ использования ИМ отметим:

- значительное улучшение координации между участниками проекта. За счет замены большого числа разрозненных плоских чертежей и общего доступа к единой информационной модели снижается вероятность ошибок и конфликтов;
- повышение управляемости проекта. Более точные и детальные проекты дают возможность зачастую исключить ошибки на стадии строительства. Доступ к актуальной информации обеспечен в режиме реального времени;
- включение на всех этапах заказчика как полноправного участника строительства.

При всех вышеописанных преимуществах ИМ имеет также и свои несовершенства, в том числе включающие:

- отсутствие единого формата для различных систем проектирования. Формат *dwg/dxf* является широко известным в строительной сфере. Однако, в настоящее время существуют программы, ориентированные на другой формат файлов, предназначенных для разных типов сложных

данных. К такому формату относится недавно появившийся формат IFC (Industry Foundation Classes). В результате попыток получения обобщенной модели из разных форматов неизбежны частичные потери информации;

- коллизии, представляющие собой пространственное или иное пересечение двух и более элементов модели.

Целью настоящей статьи является рассмотрение коллизий в BIM-проектировании на примере создания информационной модели малоэтажного здания. Они могут возникать из-за несогласованности данных между различными разделами проектов (например, архитектурные и конструктивные решения, инженерные сети и т.д.) или из-за неправильного моделирования элементов. В результате появляются конфликты, которые должны быть решены до начала производства строительного-монтажных работ.

Методология

Для выявления и устранения коллизий используются специализированные программные инструменты, которые позволяют проводить анализ модели на предмет пересечений и противоречий. Такие инструменты помогают минимизировать их влияние на проект, сокращая время исправления ошибок и уменьшая риски возникновения недоработок на строительной площадке [28-29].

Внедрение в ежедневную проектную деятельность организации применения программ по поиску и устранению коллизий становится возможным только в составе инновационного комплексного подхода к ведению строительных проектов в целом. Это требует системного взгляда на процесс, регулярного обучения персонала, разработки ряда внутренних стандартов и полного интегрирования их во все процессы. Однако, потенциальные выгоды от использования ИМ оправдывают затраты. Именно поэтому технологии информационного моделирования становятся необходимостью для компаний, стремящихся оставаться конкурентоспособными на рынке строительства и поддерживать высокие стандарты качества [30].

Информационная модель рассматриваемого здания создана одной из проектных организаций Краснодарского края, активно применяющей технологии информационного моделирования. Общий вид ИМ объекта представлен на рисунке 1.

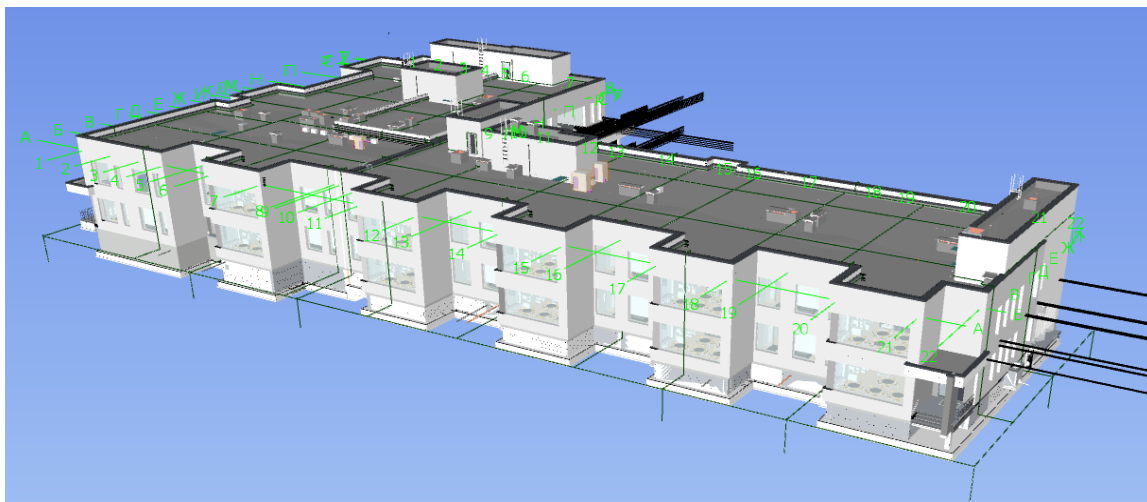


Рисунок 1 – Модель объекта

Для разработки ИМ был применен программный комплекс Navisworks. Некоторые проектировщики полагают, что часть его функционала является избыточной и в качестве более оптимальной программы приводят Autodesk Revit [31-33]. Отметим, что помимо других преимуществ, заключающихся в объединении моделей в одном файле из разных САПР, включении сведений лазерного сканирования, подсчете объемов работ и соотношении их со сметной документацией, самым значимым достоинством Navisworks является детальная проверка ИМ на наличие коллизий.

Результаты

Рассмотрим процесс выявления коллизий подробнее. Пользователь может настроить элементы, которые требуется проверить по данным, полученным на основе ИМ. Выбор элементов осуществляется по их типам, есть возможность собрать именно такую группу элементов, которая необходима. Программа в автоматизированном режиме обнаружит коллизии, включая самопересечения (пересечения в пределах одного элемента). Navisworks позволяет не только видеть коллизии в динамическом режиме, но и генерировать отчет о них в различных форматах. Для каждой коллизии пользователь имеет возможность назначить статус и прикрепить пояснения. Инструмент Collaboration Toolkit востребован при работе над проектом в составе группы, все участники с использованием вкладки «Обзор» могут делиться информацией с коллегами.

Практическое применение BIM-технологий на вышеуказанном объекте при проверке на коллизии включало следующие сценарии:

1. Обнаружение коллизий между строительными элементами. Визуализация различных строительных элементов (стен, потолков, перекрытий) происходит в едином 3D-пространстве. Проводится выявление пересечений между этими элементами, принятие мер для их устранения (рисунок 2).
2. Интеграция инженерных сетей. BIM-моделирование позволяет проектировщикам интегрировать различные системы инженерного оборудования, включая отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха, электро- и водоснабжение. При проверке на коллизии можно обнаружить конфликты между различными компонентами этих систем и разработать решения для их исключения (рисунок 3). Как и упоминалось выше, в автоматизированном режиме составляется отчет о проверке на коллизии с изображением пересечений, указываются наименования конкретных элементов и их местоположение. Далее проектировщиками загружается готовый отчет в рабочую модель в Revit при помощи плагина и исправляются проектные ошибки (рисунок 4).

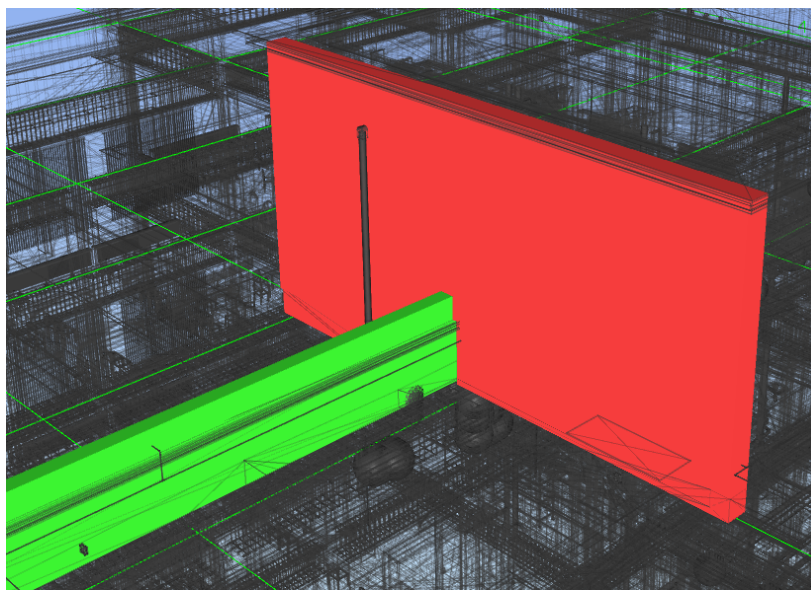


Рисунок 2 – Пересечение кирпичной перегородки из раздела АР и железобетонной стены из раздела КР проекта

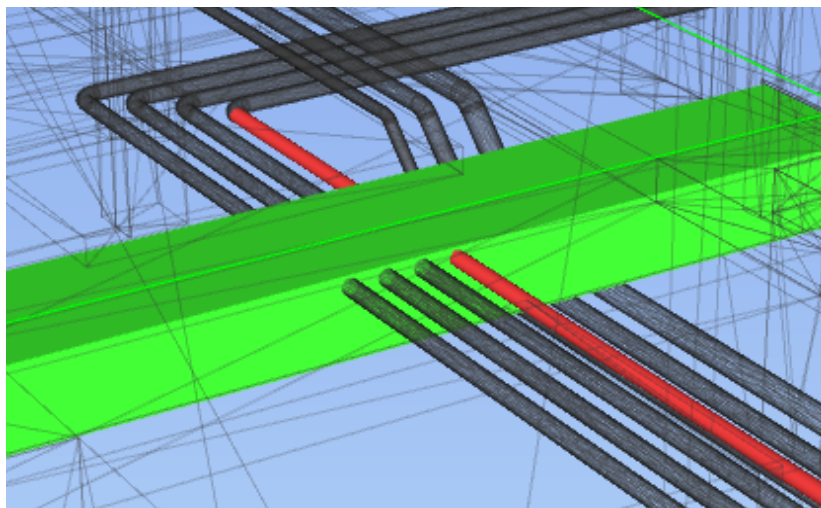


Рисунок 3 – Пересечение трубопроводов и воздухопроводов

Найти пересечение

Укажите файл отчета:

Открыть

U:\ОБЪЕКТЫ\2302 ФОК Туапсе (Бельдеев)_ОБЩАЯ\Задания\от BIM\Отчеты\29\2_АР - 3Л.xml

Изображение	Пересечение	Статус	Объект 1 Id	Объект 1 Имя	Объект 2 Id	Объект 2 Имя	Отработано	Комментарии
	Конфликт1	Создать	2298950	ADSK_Кладка_Кирпич_Работы_Керамический одинарный	1134189	РАЛ 9016	☐	
	Конфликт2	Создать	3008157	KRGP_СТЕНЫ_Штукатурка_Сeresit CT 29	1134189	РАЛ 9016	☐	

Найти Excel Ок

Рисунок 4 – Пример отчета, загруженного в рабочую модель



При обнаружении коллизий BIM-технологии позволяют также применять инновационные решения для их устранения. Они включают в себя, например, автоматизированные системы коррекции дизайна, изменение параметров элементов или использование альтернативных конструкций для избегания конфликтов. Такие подходы в еще большей степени повышают эффективность и точность решения проблем.

Обсуждение

С учетом возрастающей популярности использования информационных моделей при разработке проектов и одновременно с этим необходимости импортозамещения зарубежных решений отметим появившиеся в последние годы российские программные продукты для проверки коллизий. Одним из них является Tangl, который представляет собой платформу для комплексного управления строительными проектами. Программа Tangl позволяет не только обнаруживать и устранять коллизии, но и интегрироваться с другими системами для обеспечения полной прозрачности процессов. Программное обеспечение использует передовые алгоритмы для анализа моделей, что позволяет минимизировать количество ошибок и повысить общую эффективность проектов. Сейчас оно уже применяется в крупных строительных компаниях, что свидетельствует о росте доверия со стороны отрасли к его надежности и функциональности.

Еще одним примером отечественного софта для проверки коллизий является Larix.Manager. Эта система предлагает широкий спектр инструментов для управления строительными проектами. Она обеспечивает удобный интерфейс для анализа данных, поиска и удаления пересечений между различными элементами моделей. Программа поддерживает интеграцию с популярными платформами, такими как, в частности, Autodesk Revit, что упрощает процесс обмена данными и совместной работы над проектами.

Таким образом, российские решения для проверки коллизий ИМ также доступны проектировщиками и представляют собой современные и функциональные инструменты. Они занимают все более значимое место на рынке, предлагая надежные и инновационные инструменты для обеспечения успешной реализации проектов.

К динамично развивающимся возможностям в сфере информационного моделирования следует отнести использование мобильных технологий. Современные мобильные приложения и устройства позволяют участникам строительного процесса участвовать в обмене информацией, просматривать ИМ, получать уведомления о изменениях и осуществлять оперативную коммуникацию с другими участниками.

Выводы

Всестороннее использование возможностей BIM-технологий при проверке на коллизии является важным шагом в направлении современного и эффективного проектирования и строительства, способствует стабильному повышению качества проектов и оптимизации строительно-монтажных

работ. В настоящее время процесс обнаружения коллизий достаточно хорошо отлажен, но при этом потенциал для увеличения его эффективности сохраняется. Информационное моделирование играет важную роль в современном строительстве, обеспечивает более гармоничное взаимодействие между всеми участниками процесса, способствует созданию инновационных и успешных проектов.

Библиографический список

1. Римшин, В. И. Применение информационного моделирования зданий на примере спортивного объекта / В. И. Римшин, С. И. Рощина, С. В. Усанов // Русский инженер. – 2024. – № 2(83). – С. 44-48. – EDN GNSGBZ.
2. Информационное моделирование в современном строительстве : Цикл лекций / В. Л. Курбатов, В. И. Римшин, С. В. Волкова [и др.]. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – 322 с. – ISBN 978-5-903213-56-6. – EDN UVRQGE.
3. Теория деградации в жизненном цикле зданий и сооружений / В. И. Римшин, А. К. Соловьев, П. А. Амелин, А. А. Никитин // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 5. – EDN IENQUTU.
4. Римшин, В. И. Применение искусственного интеллекта при обследовании арматуры зданий и сооружений / В. И. Римшин, В. А. Кучеренко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 1(781). – С. 39-46. – DOI 10.32683/0536-1052-2024-781-1-39-46. – EDN EYDGRW.
5. Научные основы искусственного интеллекта в строительстве / В. И. Римшин, И. С. Кузина, А. А. Никитин, А. Е. Молчанова // Русский инженер. – 2023. – № 4(81). – С. 41-45. – EDN FEYPVY.
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. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шубин И.Л., Волкова С.В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-



- коммунальном хозяйстве. Изд. АСВ. Москва, 2023.
8. Римшин, В. И. Применение когнитивных технологий для прогнозирования прочности тонких стенок двутавровых балок / В. И. Римшин, С. М. Анпилов, С. В. Усанов // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 1(24). – С. 42-52. – DOI 10.51608/26867818_2024_1_42. – EDN DEIRZB.
9. Кришан, А. Л. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика / А. Л. Кришан, В. И. Римшин, М. А. Астафьева. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – 322 с. – ISBN 978-5-4323-0352-3. – EDN ROLLKN.
10. Alexey Bulgakov, Jens Otto Wen-der Yu, Vladimir Rimshin and Alexey Shleenko. Structural organization of robotic building and mounting complexes // Journal of Robotics and Mechatronics, Proceedings of the 40th ISARC, Chennai, India, ISBN 978-0-6458322-0-4, ISSN 2413-5844/2023, Pp. 208-213.
11. Fracture of high performance materials under multiaxial compression and thermal effect / I. L. Shubin, Y. V. Zaitsev, V. I. Rimshin [et al.] // Engineering Solid Mechanics. – 2017. – Vol. 5, No. 2. – P. 139-144. – DOI 10.5267/j.esm.2017.2.002. – EDN YVHYCB.
12. Telichenko, V. Engineering structures stability against progressive collapse / V. Telichenko, V. Rimshin, E. Ketsko // E3S Web of Conferences : XXVI International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2023), Tashkent, 26–28 апреля 2023 года. Vol. 410. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 02037. – DOI 10.1051/e3sconf/202341002037. – EDN TYYUAK.
13. Prediction of the Radon Situation in Buildings Constructed Under the Renovation Program / V. Telichenko, V. Rimshin, A. Kalaydo, M. Semenova // International Scientific and Practical Symposium "The Future of the Construction Industry: Challenges and Development Prospects" : E3S Web of Conferences. Volume 457 (2023), Moscow, 18–22 сентября 2023 года. Vol. 457. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences (Les Ulis), 2023. – P. 02041. – DOI 10.1051/e3sconf/202345702041. – EDN UYIKJY.
14. Vladimir I. RIMSHIN, Svetlana I. ROSHCHINA, Ruslan V. LESOVIK, Mihail V. LUKIN, Anastasia V. LUKINA Prolongation of the life cycle of wooden structures due to the use of joints on aluminum connectors // Eurasian Chemical Communications, 6 (2024). Pp.122-132.
15. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018. С. 032024.
16. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures / S. Merkulov, V. Rimshin, E. Akimov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladimir, 27–28 апреля 2020 года. – Vladimir, 2020. – P. 012022. – DOI 10.1088/1757-899X/896/1/012022. – EDN VUVIBU.
17. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors / V. I. Telichenko, V. I. Rimshin, A. V. Karelskii [et al.] // Journal of Industrial Pollution Control. – 2017. – Vol. 33, No. 1. – P. 1034-1041. – EDN XNTLSI.
18. Varlamov, A. A. The General theory of degradation / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, S. Y. Tverskoi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladivostok, 02–04 октября 2018 года. Vol. 463, Part 2. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022028. – DOI 10.1088/1757-899X/463/2/022028. – EDN OZNXIZ.
19. Varlamov, A. A. The modulus of elasticity in the theory of degradation / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, S. Y. Tverskoi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladivostok, 02–04 октября 2018 года. Vol. 463, Part 2. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022029. – DOI 10.1088/1757-899X/463/2/022029. – EDN FSACFD.
20. Diagrams of concrete behavior over time / A. Varlamov, Y. Kostyuchenko, V. Rimshin, V. Kurbatov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladimir, 27–28 апреля 2020 года. – Vladimir, 2020. – P. 012085. – DOI 10.1088/1757-899X/896/1/012085. – EDN YZTRUU.
21. Cherkas, A. Application of composite reinforcement for modernization of buildings and structures / A. Cherkas, V. Rimshin // RSP 2017



- XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering, Warsaw, Poland, 21–25 августа 2017 года / Editors: S. Jemioło, A. Zbiciak, M. Mitew-Czajewska, M. Krzemiński and M. Gajewski. – Warsaw, Poland: EDP Sciences, 2017. – P. 00027. – DOI 10.1051/mateconf/201711700027. – EDN XOVSZJ.
22. Kuzina E., Rimshin V. Deformation monitoring of road transport structures and facilities using engineering and geodetic techniques // В сборнике: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Conference proceedings. Серия: Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham, 2018. С. 410-416.
23. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. Security and destruction of technical systems // В сборнике: IFAC-PapersOnLine. Baku, Azerbaijan, 2018. С. 808-811.
24. Varlamov A., Rimshin V., Tverskoi S. A method for assessing the stress-strain state of reinforced concrete structures // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018. 2019. С. 02046.
25. Римшин, В. И. Большой строительный словарь / В. И. Римшин, Е. С. Кецко, П. С. Трунтов ; Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 1. – Москва : Издательский дом АСВ, 2022. – 572 с. – EDN AERTFJ.
26. 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.
27. Громов, Г. Н. Об объединении концепций BIM и ГИС при разработке решений наружных сетей вив / Г. Н. Громов, В. И. Римшин, И. М. Незаметдинов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2022 : Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции, Москва, 19 декабря 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 900-905. – EDN KCCEYA.
28. Управление, эксплуатация и обслуживание многоквартирного дома / В. Л. Курбатов, В. И. Римшин, С. В. Волкова, Е. Ю. Шумилова. – Минеральные воды : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – 616 с. – ISBN 978-5-903213-55-9. – EDN АСТРМУ.
29. Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте / В. И. Римшин, И. Л. Шубин, В. Т. Ерофеев, А. А. Аветисян // Жилищное строительство. – 2022. – № 7. – С. 6-12. – DOI 10.31659/0044-4472-2022-7-6-12. – EDN LIMAVP.
30. Определение факторов, влияющих на жизненный цикл здания торгового назначения / В. И. Римшин, Е. С. Кецко, С. М. Есипов, С. И. Меркулов // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 6. – EDN DPEDNV.
31. Научные основы информационного моделирования в расчете зданий и сооружений / В. И. Римшин, И. С. Кузина, М. А. Астафьева, А. Е. Молчанова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – № 11(1071). – С. 20-23. – EDN NBZOJC.
32. Кузина, И. С. Внедрение BIM-технологий на этапе эксплуатации объекта / И. С. Кузина, Е. С. Кецко // Дни студенческой науки : Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) НИУ МГСУ, Москва, 28 февраля – 04 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. – С. 176-180. – EDN GVIAIG.
33. Цифровые технологии в городском хозяйстве / В. И. Римшин, В. Т. Ерофеев, А. А. Аветисян, А. О. Шмуневская // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – № 7(1055). – С. 28-31. – EDN LNHBSF.

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

Статья поступила в редакцию 13.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 13.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.



Научная статья
УДК 691.12
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
DOI 10.51608/26867818_2024_3_95

МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПОЗИТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИГНИНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

© Автор 2024
SPIN: 2883-1204

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

Аннотация. В статье рассмотрена возможность получения биопозитивных, энергоэффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств. Исследовано влияние микроструктуры органических заполнителей на свойства материалов и определены критерии применения комбинированного поликомпонентного органического заполнителя. Приведены результаты испытаний и многофакторный анализ, определено, что применение полифракционного растительного заполнителя позволяет повысить прочностные характеристики материала. Изучены механизмы формирования клеящей оболочки пенополистирольных гранул. Исследована эффективность модификации водных дисперсий диметилкетона и производных карбоновой кислоты наноразмерными добавками, с помощью термодинамических кривых. Исследованы физико-химические процессы и структурообразование в композиционном материале.

Ключевые слова: лигнин; адгезия; биопозитивный материал; наноразмерная добавка; пенополистирол; строительные материалы

Для цитирования: Смирнова О.Е. Методология получения биопозитивных композиционных материалов с использованием лигниносодержащих отходов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 95-102. doi 10.51608/26867818_2024_3_95

Original article

METHODOLOGY OF PRODUCING BIOPOSITIVE COMPOSITES USING LIGNIN-CONTAINING WASTES

© The Author(s) 2024

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

Abstract. The article discusses the possibility of obtaining biopositive, energy-efficient building materials using local raw materials and waste with a given set of performance properties. The influence of the microstructure of organic fillers on the properties of materials was studied and criteria for the use of a combined multicomponent organic filler were determined. Test results and multifactor analysis are presented; it is determined that the use of polyfractional plant filler can improve the strength characteristics of the material. The mechanisms of formation of the adhesive shell of polystyrene foam granules have been studied. The efficiency of modification of aqueous dispersions of dimethyl ketone and carboxylic acid derivatives with nanosized additives was studied using thermodynamic curves. Physico-chemical processes and structure formation in the composite material have been studied.

Keywords: lignin; adhesion; biopositive material; nano-sized additive; expanded polystyrene; building materials

For citation: Smirnova O.E. Methodology of producing biopositive composites using lignin-containing wastes // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 95-102 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_95

Введение

Актуальность переработки растительного сырья и органических отходов, в том числе отходов пенополистирола определяется многими факторами. Главным из которых является большие объемы отходов (ежегодно в стране образуется более 700 млн. т отходов лесо- и деревообработки, свыше 630–650 млн. т сельскохозяйственных отходов), приводящие к интенсивному засорению водоемов, гниению отходов или их сжиганию, что негативно сказывается на экологической обстановке. При этом «зеленая повестка», экономика замкнутого цикла, включающая стимулирование использования вторичных ресурсов, ставят задачу к 2030 г. добиться использования 40 % вторичных ресурсов в строительстве, 50 % – в сельском хозяйстве, 34 % – в промышленности [1]. Таким образом, получение биопозитивных композиционных строительных материалов (далее БКМ), т.е. материалов, получаемых из возобновляемых природных ресурсов, не загрязняющих природную среду при их изготовлении, а также требующие минимальных затрат энергии при изготовлении, является экологически важной и актуальной задачей [2-3].

Решение проблемы получения строительных

материалов на основе органического сырья нашло отражение в трудах российских ученых В. И. Бухаркина, Ю. П. Горлова, В. М. Курдюмовой, И. Х. Наназашвили, Б. Н. Понамаренко, И. А. Рыбьева, Н. И. Склизкова, А. П. Пичугина, В. М. Хрулева, В. Г. Хозина, С. А. Угрюмова и др.

Однако ряд технологических проблем, в числе которых высокая энергоемкость производства, необходимость использования дополнительной технологической подготовки сырья (рассев, измельчение) для обеспечения фиксации сформированной структуры материала, высокий расход связующего из-за высокой удельной поверхности отходов (опилоки 5,36 м²/кг, щепа 4,08 м²/кг, костра льна 19,78 м²/кг, торф 11,9 м²/кг), и другие факторы, ставят задачи по поиску рациональных (технически, экономически и экологически) способов повышения эффективности технологии производства и качества композитов на основе органических отходов [4].

В связи с этим, предложена методология получения биопозитивных композиционных материалов с использованием органических отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств (рис.1).

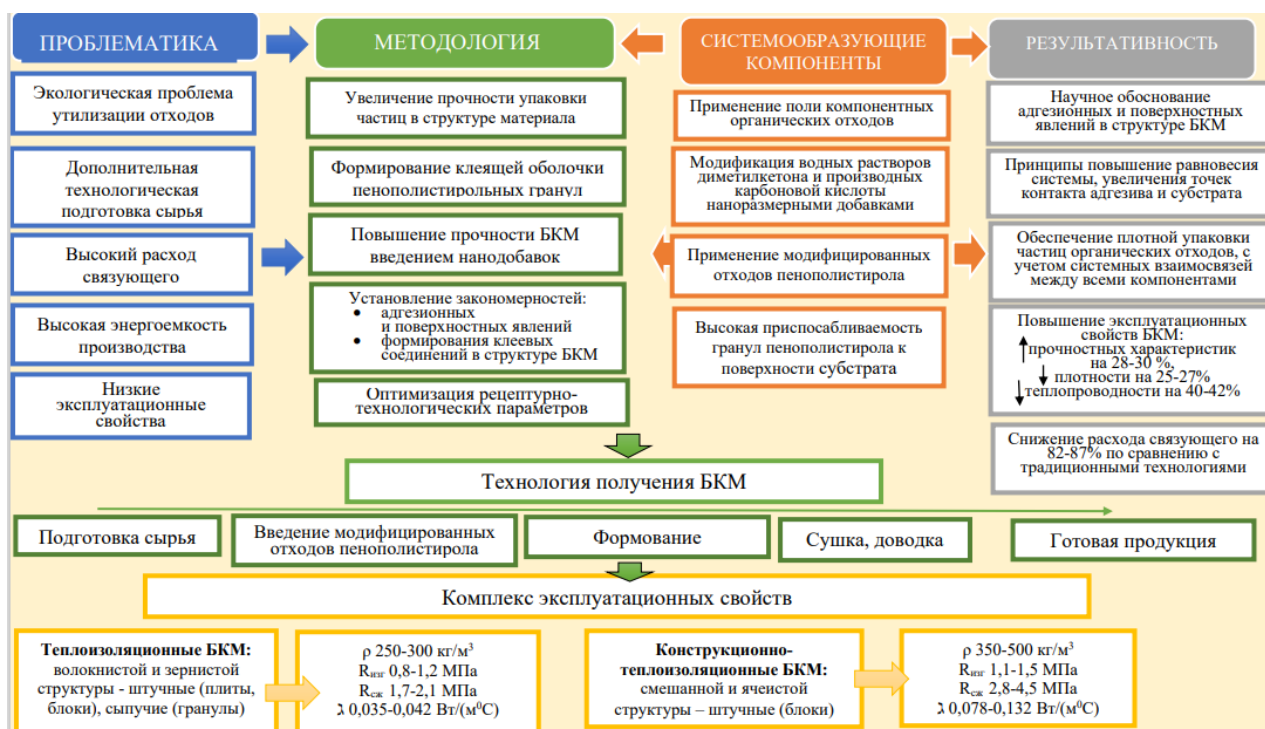


Рисунок 1. Методология получения БКМ с использованием органических отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств

Целью данного исследования является научное обоснование и разработка биопозитивных, энергоэффективных строительных материалов (БКМ) с использованием местного сырья и отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Методология

В качестве органических наполнителей в работе применяли характерные для СФО растительные отходы, такие как костру льна, древесные опилки сосны, щепу, солому, лузгу гречихи [5].



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, pH = 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%, pH = 10,9; стирол-акриловый латекс, представляющий собой продукт не пластифицированной водной эмульсией полимера на основестирола, 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 %, pH = 7,8-8,5.

В качестве нанодобавок использовали:

- Алумозоль коллоидный гидроксид алюминия Al_2O_3 . Полидисперсная система, размер частиц в пределах 80-200 нм. плотность 1,04 г/см³;
- Кремнезоли Фоскон (кислые и щелочные), коллоидные растворы диоксида кремния, производитель ЗАО «ФК». Массовая доля двуокиси кремния, % масс от 16,2 до 29, размер частиц в пределах 30-33 нм (pH больше 7), 35-36 нм (pH меньше 7) плотность 2,65 г/см³;

- Многослойные углеродные нанотрубки (УНТ), марки С-100 «Агсета», плотность 1,3-2 г/см³, концентрация 3,0-3,1%, удельная поверхность 119,33 м²/г. размер частиц в пределах 10-15 нм;

- Нанодобавку фирмы Оксил «TUBALL™ LATEX», представляющую собой суспензию графеновых нанотрубок на водной основе, размер частиц в пределах не более 2-3 нм., концентрация 0,1%, плотность 1,0 г/см³.

Результаты и обсуждение

Согласно методологии получения БКМ, на начальном этапе исследовалось влияние микроструктуры органических заполнителей на свойства материалов и были установлены критерии применения комбинированного поликомпонентного органического заполнителя. Изучалось влияние фракционного состава органического заполнителя на формирование структуры материала с помощью двухфакторного дисперсионного анализа. Проведен факторный эксперимент типа 3х7. В качестве факторов выбраны: R – отношение заполнителя к связующему, L – фракционный состав заполнителя. Измеряемые характеристики (отклики) – средняя плотность (Y1) и прочность при изгибе (Y2). Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определения оптимума по фракционному составу органического заполнителя

Факторы (L/R)	Отклик Y ₁ m [*] (кг/м ³) при соотношении заполнитель : связующее			Отклик Y ₂ Ризг [*] (МПа) при соотношении заполнитель : связующее		
	1:0,9	1:1,15	1:1,25	1:0,9	1:1,15	1:1,25
	(R ₁)	(R ₂)	(R ₃)	(R ₁)	(R ₂)	(R ₃)
фракции 10/5 (L ₁)	255-260	290-292	308-310	0,78-0,81	0,95-0,98	1,14-1,17
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

Источник изменчив ости (Y _i)	Степень свобод ы (f)	Сумма квадрат ов (SS)	Средни й квадрат (S)	Критер ий Фишера (Fрасч.)	Критер ий Фишера (Fтабл.)
L	6	3,501	0,583	159,334	2,32
R	2	1,065	0,533	145,463	3,22
RxL	12	0,174	0,015	3,970	1,99
	42	0,154	0,004	-	-
сумма	62	4,894	-	-	-

Источни к изменчи вости (Y _i)	Степень свободы (f)	Сумма квадрат ов (SS)	Средни й квадрат (S)	Критери й Фишера (Fрасч.)	Критери й Фишера (Fтабл.)
L	6	0,2842	0,474	15800	2,32
R	2	0,2954	0,148	4933	3,22
RxL	12	0,0013	0,00011	3,7	1,99
	42	0,0013	0,00003	-	-
сумма	62	0,8028	-	-	-

По результатам испытаний и многофакторного анализа определено, что применение полифракционного растительного заполнителя позволяет повысить прочностные характеристики за счет армирующего эффекта более крупной фракции исследуемого органического отхода, а также за счет «свойлачивания» – переплетения древесных волокон с кострой льна или соломой и физического

взаимодействия поверхностей разных по структуре органических заполнителей. Оптимальный полифракционный состав комбинированного растительного заполнителя установлен при сочетании фракций 10 / 5 и 5 / 2,5 мм в соотношении 1 : 2. Согласно исследованию фракционного состава органических отходов, содержание фракций 5/2,5 мм преобладает в валовых пробах и составляет не менее

60-64%, что позволяет применять заполнители без предварительной технологической подготовки.

Исследовался вещественный состав исходных органических компонентов с помощью инфракрасной спектроскопии. По всем спектрам можно отметить сходство органических отходов, а именно, характерны: валентные колебания различного типа гидроксильных групп в области $3500-3100\text{ см}^{-1}$ и фоновое поглощение в интервале $700-500\text{ см}^{-1}$ этих же групп; колебания метильных и метиленовых групп в области $3000-2800\text{ см}^{-1}$ и деформационные колебания этих групп в интервале $1460-1360\text{ см}^{-1}$. На присутствие лигнина указывают интенсивные полосы поглощения при 1653 см^{-1} с перегибом $1730-1710\text{ см}^{-1}$, а также полосы в области

$1540-1510\text{ см}^{-1}$, характерные для колебаний колец. Интенсивность пиков в этих областях указывает на повышенное содержание лигнина [6].

Далее исследовали микроструктуру органических отходов (рис.2). Костра льна, солома схожи по строению - с внешней стороны защищены плотной оболочкой, имеющей бороздчатый рельеф [7]. Изучение более мелких фракций (менее 5 мм) показывает разрыв и деформацию капиллярной структуры в продольном и поперечном направлениях по боковым граням пластинок. В то же время рваная рельефная поверхность боковых граней пластинок способствует хорошему сцеплению с компонентами системы.

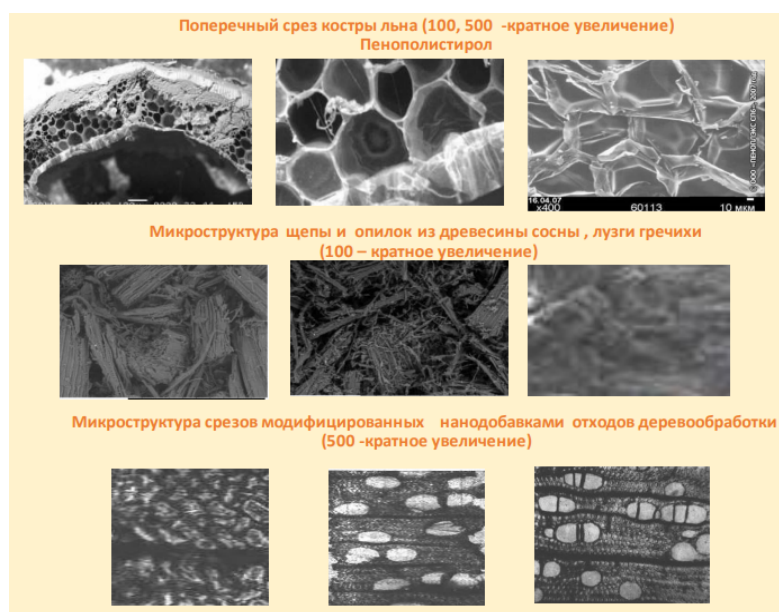


Рисунок 2. Микроструктура органических заполнителей

Ячеистое строение капилляров во внутренней области стеблей по своей форме, размерам ячеек и толщине перегородок имеет показатели, аналогичные структуре пенополистирола. Щеп хвойных пород (сосны) выглядит как небольшие фрагменты древесины, имеющие клеточную структуру с редкими волокнистыми фрагментами. При изучении строения опилок отчетливо проявляется расслоение приторцовых поверхностей частиц. При этом увеличивается количество мелких лентообразных частиц в виде частично разрушенных трахеид. По снимкам микроструктуры срезов отходов деревообработки модифицированных нанодобавками (кремнезоль) видно, что в ходе модификации древесных отходов микроструктура материала претерпевает изменения, на внутренних полостях сосудов и капилляров, происходит утолщение вторичных оболочек, при этом прочностной эффект при рекомендуемых оптимальных процентах введения нанодобавок не достигается, т.к. отходы имеют пористое строение и значительную насыпную плотность. Поэтому возможность эффективного применения наноразмерных добавок исследована в контексте взаимодействия с клеящей оболочкой другого вида

заполнителя – отхода пенополистирола.

Следующим этапом методологии является установление принципов формирования клеящей оболочки пенополистирольных гранул. Для решения проблемы сокращения связующего и уменьшения энергозатрат, предложено введение в состав БКМ отходов пенополистирола, предварительно обработанных водными дисперсиями диметилкетона и производных карбоновой кислоты. Обработка дисперсиями позволяет образовывать клеящую пленку на поверхности гранулы, с их небольшой деформацией. Таким образом, гранулы пенополистирола участвуют в процессе склеивания, за счет образования прочной связи пленки гранулы с поверхностями поликомпонентного органического заполнителя, а также выполняют роль заполнителя в БКМ, попутно сокращая расход связующего (рис.3.). Показателями качества клеевой оболочки гранулы определены: адгезионная, или клеящая, способность - она определяется по прочности соединения двух стандартных образцов различными методами на сдвиг, скалывание, отслаивание; а также вязкость (текущность), от вязкости зависит сохранность клеевой оболочки [8]

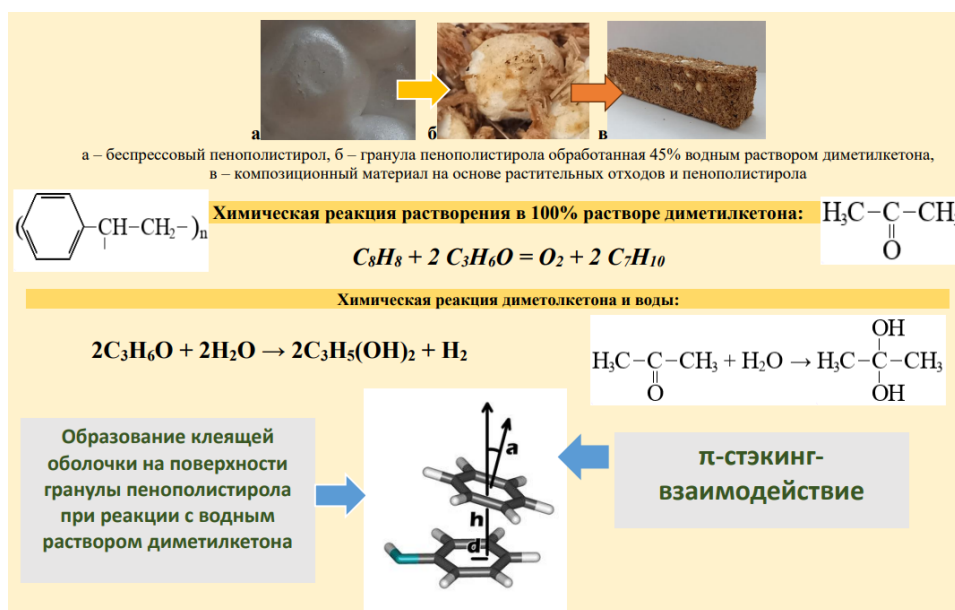


Рисунок 3. Механизм формирования клеящей оболочки пенополистирольных гранул

Определяли оптимальное соотношение диметолкетона и/или производных карбоновой кислоты в водной дисперсии. Диметилкетон смешивается с водой благодаря наличию полярной C=O группы у ацетона, -ОН группы у воды. Из-за сил Ван дер Ваальса происходит взаимодействие групп воды и ацетона - в результате неограниченное смешивание друг с другом. Диметилкетон и/или производные карбоновых кислот полностью растворяют гранулы пенополистирола, но водные дисперсии этих химических продуктов позволяют создавать клеящую оболочку гранул, не растворяя их [9].

Сделано предположение, что клеевая оболочка на грануле пенополистирола образуется за счет межмолекулярного сопряжения пи-электронов бензольных колец. При реакции с водным раствором диметилкетона молекулы последнего располагаются, определенным образом, с помощью стекинга, оно напоминает расположение монет в стопке и поддерживается ароматическими взаимодействиями. Бензольные кольца пенополистирола, компланарно расположившись, пи-электронами сопрягаются. При этом возникают, одни из самых сильных вандерваальсовых сил. Таким образом, получается межмолекулярная пластификация или когезия, не растворяется, а изменяется - поверхность гранулы, и становится клеевой.

Высокая прочность сцепления компонентов в системе БКМ является неременным условием получения материалов с высокими физико-механическими свойствами. Для этого необходима совместная работа поли компонентного органического наполнителя и модифицированных

пенополистирольных гранул, то есть прочная связь их поверхностей. В теории жесткая полимерная цепь не может также приспособиться к поверхности как молекулы мономера или олигомера, из которых образуется полимерный адгезив. Таким образом, по мере отверждения (структурирования) система становится все более неравновесной, причем тем больше, чем жестче цепь. При этом в адгезиве возникают внутренние напряжения, обусловленные как условиями отверждения, так и собственно взаимодействием полимера с поверхностью.

В нашем случае гранулы пенополистирола с клеящей оболочкой обладают большей эластичностью, лучше приспособляются к поверхности, возникает больше точек контакта, и как следствие неравновесность системы уменьшается [10-11]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что повышение прочности склеивания возможно за счет: повышения сил межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз; снижения внутренних напряжений, как по межфазной границе, так и в массе клеевого слоя гранулы.

Для корригирования адгезионных свойств в системе БКМ исследована модификация водных растворов диметилкетона или производных карбоновой кислоты наноразмерными добавками. Эффект от введения нанодобавок изучался с помощью термомеханических исследований, которые проводились 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 °C [12].

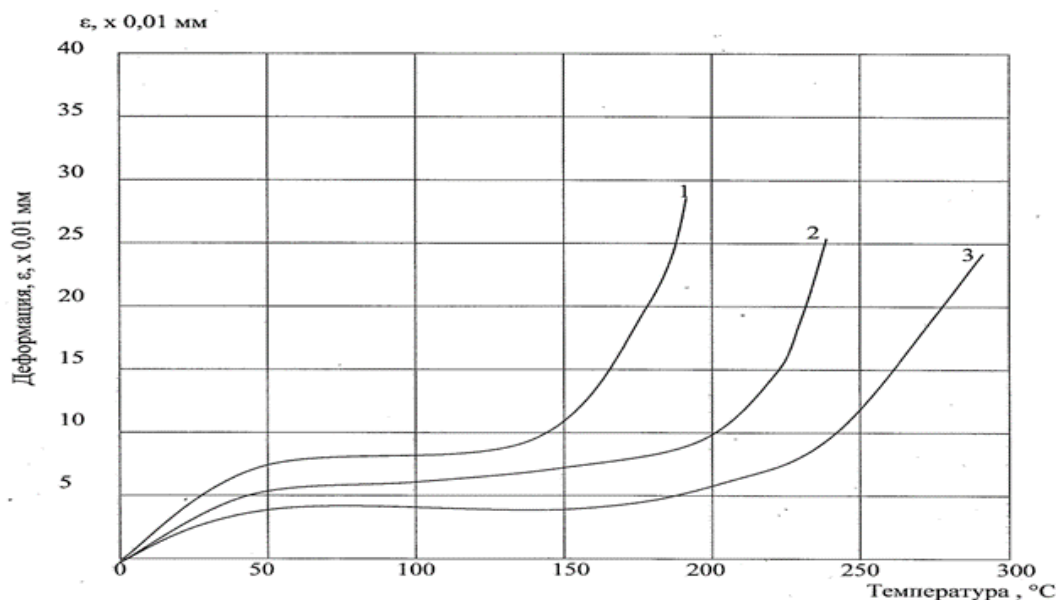


Рисунок 4. Термомеханические кривые модификации водных дисперсий диметилкетона и производных карбоновой кислоты наноразмерными добавками:
1 – без добавки, 2 – с добавкой кремнезоля, 3 – с добавкой Tuball.

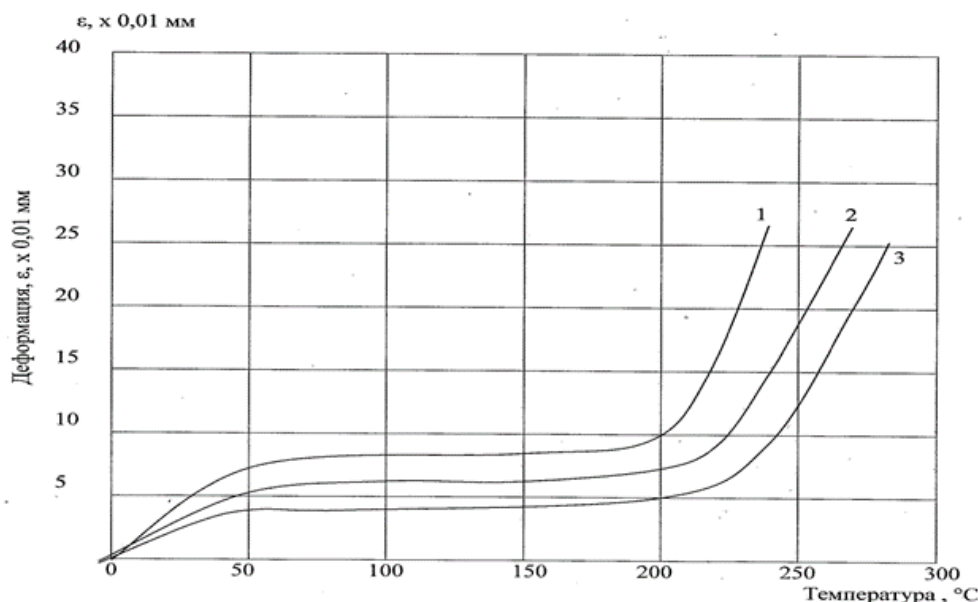


Рисунок 5. Термомеханические кривые в зависимости от содержания наноразмерных добавок (кремнезоля) в составе модификатора:
1- 0,01%, 2- 0,05%, 3- 0,1 %, 4- 0,5 %

Анализ данных кривых (рис.4.) показывает, что наибольшая температурная деформация характерна для – модифицированной пенополистирольной гранулы без нанодобавок (кривая 1, рис.4). При этом точка температурного перехода в текучее состояние находится в районе 130-140°C. Введение в состав кремнезоль способствует повышению термоустойчивости композиции, одновременно снижая величину общей деформации (кривая 2, рис.4), повышая точку температурного перехода в текучее состояние на 40-50°C. Добавка Tuball способствует дополнительному снижению деформации системы и повышению температурного перехода к состоянию текучести на 25-30°C. Однако отмечено, что этот переход сопровождается в

большом интервале температур при достаточно интенсивном увеличении деформации[13].

На рисунке 5 представлен характер температурных деформаций, в зависимости от количества введенных нанодобавок (кремнезоль) в состав материала. Введение 0,05% кремнезоля повышает точку температурного перехода в текучее состояние на 15-20°C (кривая 2, рис.5), а при содержании этого компонента в количестве 0,1% это увеличение составляет 25-35°C (кривая 3, рис.5). Таким образом, все используемые наноразмерные добавки оказывают усиливающее деформационное воздействие на модифицированные пенополистирольные гранулы.

С помощью ИК-спектров (рис. 6.) проводился

анализ смещения максимумов полос поглощения и изменение их интенсивности относительно соседних пиков, в зависимости от вида нанодобавок, в результате:

- гранулы пенополистирола модифицированные водным раствором диметилкетона с нано добавками показывают взаимодействие с реакционноспособными группами органического заполнителя (опилки, костра льна и др.), образуемые химические связи гидролитически устойчивые;

- установлено, что при модифицировании не происходит разрушение ароматических колец лигнина и основных цепей макромолекул целлюлозы в структуре органического заполнителя;

- интенсивность полос и смещение максимумов в высокочастотную область более выражено при применении полимерсиликатного связующего и добавок УНТ и Tuball, при связующем на основе ПВА лучший эффект показали кислый и щелочной кремнезоли.

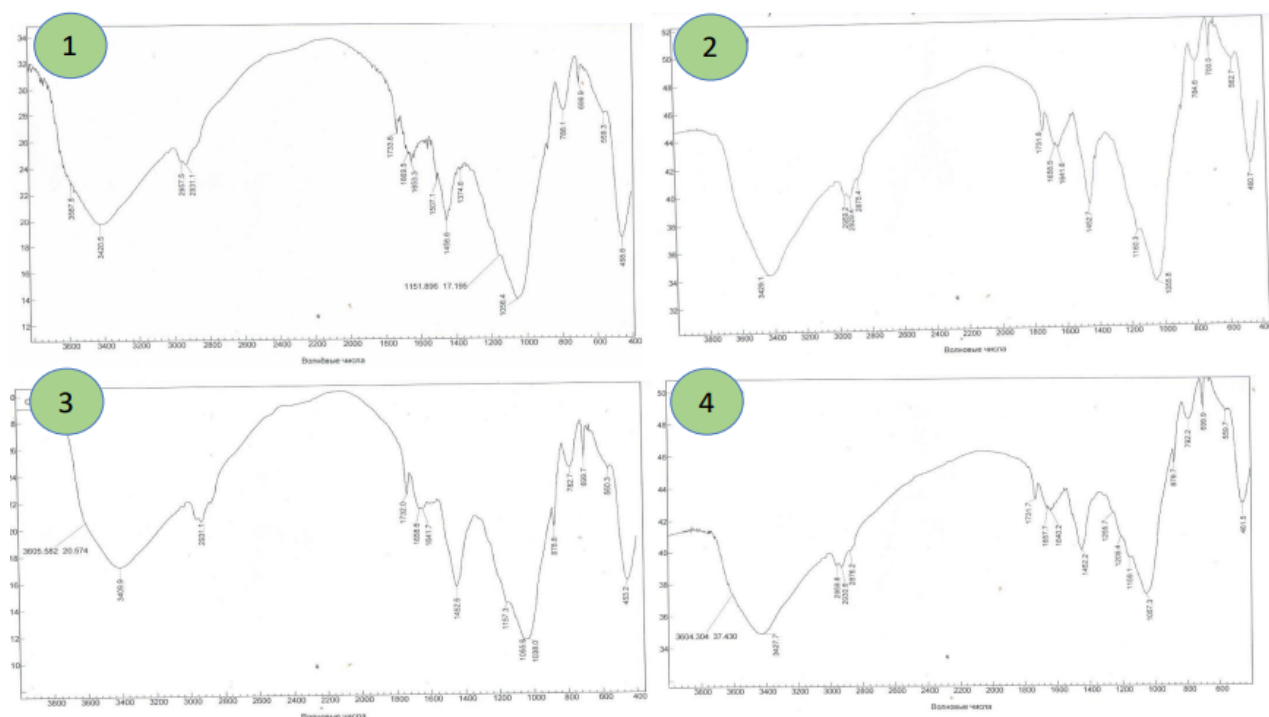


Рисунок 6. ИК-спектры БКМ с использованием модифицированных нанодобавками пенополистирольных гранул: 1- кремнезоль, 2- алумозоль, 3- Tuball, 4- УНТ.

Выводы

Предложена методология получения биопозитивных композиционных материалов (БКМ) с использованием органических отходов с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Определены критерии применения комбинированного поликомпонентного органического заполнителя: величина удельной наружной поверхности отходов, фракционный состав и содержание лигнина.

Установлено, что клеящая способность гранул пенополистирола при реакции с водным раствором диметилкетона или производных карбоновой кислоты, возникает за счет стекин-эффекта (т.е. молекулы стирола располагаются, определенным образом, с помощью стекинга, подобно расположению монет в стопке и поддерживаются ароматическими взаимодействиями, при этом бензольные кольца пенополистирола, компланарно расположившись, пи-электронами сопрягаются, таким образом возникают вандерваальсовы силы взаимодействия). В результате получается

межмолекулярная пластификация (когезия), т.е. не растворяется, а изменяется - поверхность гранулы, и становится клейкой.

Установлено, что повышение равновесия системы, увеличения точек контакта адгезива и субстрата в БКМ происходит за счет модифицирования гранул пенополистирола наноразмерными добавками.

Введение в состав БКМ модифицированных отходов пенополистирола позволяет снизить расход связующего на 82-87% по сравнению с традиционными технологиями.

Библиографический список

1. Хозин, В. Г. Перспективы развития отрасли строительных материалов в свете использования вторичных ресурсов / В. Г. Хозин // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – № 1(11). – С. 22-29. – EDN NEVNVN.
2. Соломатов, В. И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. Н. Вывовой, В. П. Селяев. –



- Ташкент : Издательство "Фан" АН Республики Узбекистан, 1991. – 345 с. – ISBN 5-648-01686-7. – EDN RXBAPD.
3. Чермашенцев, В.М. Теоретические аспекты компьютерного моделирования эффективных композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2002. №3. С. 33-40.
 4. Smirnova, O. E. Integrated approach to the man-made waste use in the building materials production / O. E. Smirnova, A. Krasova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. – Ussurijsk, 2021. – P. 042051. – DOI 10.1088/1755-1315/937/4/042051. – EDN RGIXGC.
 5. 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.
 6. Завадский, В.Ф. Лигноминеральные строительные материалы / В.Ф. Завадский // Строительные материалы. – 1997. - №8. – С.3-5.
 7. Наназашвили, И.Х. Адгезия ранней и поздней древесины цементным камнем // Труды ЦНИИЭПсельстроя. 1980. №7. С.79-84.
 8. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смигла В.П. Адгезия твердых тел.- М.: Изд-во Наука, 1973. 278с.
 9. Пичугин, А. П. Композиционные прессованные материалы на основе органического сырья / А. П. Пичугин, О. Е. Смирнова, В. Ф. Хританков // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 2(21). – С. 75-81. – DOI 10.51608/26867818_2023_2_75. – EDN WOYXHI.
 10. Писаренко А.П., Поспелова К.А., Яковлев А.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Изд-во Высшая школа, 1964. 250с.
 11. Баженов Ю.М. Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения // Материалы X Академических чтений РААСН. - Пенза, Казань, 2006. - С. 3-7.
 12. Крутов П.И., Склизов Н.И., Терновский А.Д. Строительные материалы из местного сырья в сельском строительстве. – М., Стройиздат, 1978. – 284 с.
 13. Смирнова, О. Е. Адгезионная прочность в структуре композиционных материалов на основе органического сырья / О. Е. Смирнова, А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков // Строительные материалы. – 2024. – № 5. – С. 17-21. – DOI 10.31659/0585-430X-2024-824-5-17-21. – EDN ISJUZZ.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_103

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ ФИБР В СЕЧЕНИЯХ ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© Авторы 2024

СУХАНОВ Андрей Владимирович

старший преподаватель, кафедра "Строительство уникальных зданий и сооружений"

*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону)*

SPIN: 4894-8817

ШИЛОВ Александр Андреевич

кандидат технических наук, доцент кафедры "Строительство уникальных зданий и сооружений"

*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону, e-mail: alexandr_shilov@inbox.ru)*

SPIN: 9254-3688

МАИЛЯН Левон Рафаэлович

академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор, кафедра "Строительство уникальных зданий и сооружений"

*Российская академия архитектуры и строительных наук;
Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону, e-mail: lrm@aaanet.ru)*

Аннотация. В данной работе рассмотрены: вероятностно-статистическое моделирование распределения фибр в стержневых фибробетонных элементах; численные исследования распределения вероятностей ориентации фибр по высоте сечения фиброармированных элементов; комплексные численные исследования распределения вероятностей ориентации фибр по высоте и ширине сечения фиброармированных элементов; вероятностная математическая модель распределения углов наклона фибр в сечении балок и ее апробация.

Исследование подтверждено проведенными численными и экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: фиброжелезобетонные элементы; вероятностное моделирование; фибра; наклон фибр в сечении; фибробетонные элементы; строительная механика; строительные конструкции; строительные материалы

Для цитирования: Сухов А.В., Шилов А.А., Маилян Л.Р. Вероятностное моделирование распределения и ориентации фибр в сечениях фиброжелезобетонных элементов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 103-111. doi 10.51608/26867818_2024_3_103



PROBABILISTIC MODELING OF DISTRIBUTION AND ORIENTATION OF FIBERS IN SECTIONS OF FIBER-REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

© The Author(s) 2024

SUKHANOV Andrey Vladimirovich

Senior lecturer of the Department
Don State Technical University
(Russia, Rostov-on-Don)

SHILOV Alexandr Andreevich

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor of the
Department
Don State Technical University
(Russia, Rostov-on-Don, e-mail: alexandr_shilov@inbox.ru)

MAILYAN Levon Rafaelovich

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

Abstract. This paper examines: probabilistic-statistical modeling of fiber distribution in bar fiber-reinforced concrete elements; numerical analysis of the probability distribution of fiber orientation along the height of the section of fiber-reinforced elements; complex numerical studies of the probability distribution of fiber orientation along the height and width of the section of fiber-reinforced elements; a probabilistic mathematical model of the distribution of fiber inclination angles in the section of beams and its testing.

The study is confirmed by numerical analysis and experimental tests.

Keywords: fiber-reinforced concrete elements; probabilistic modeling; fiber; fiber slope in section; fiber-concrete elements; structural mechanics; building structures; building materials

For citation: Sukhanov A.V., Shilov A.A., Mailyan L.R. Probabilistic modeling of distribution and orientation of fibers in sections of fiber-reinforced concrete elements // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 103-111 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_103

Вероятностно-статистическое моделирование распределения фибр в стержневых фибробетонных элементах

При учете распределения фибр в сечениях фиброармированного элемента необходимо решать задачи моделирования двух величин: длины заделки фибры в бетон и угла ориентации фибры к нормальной оси.

Наиболее эффективными для разработки вероятностных алгоритмов моделирования являются методы линеаризации функций, статистического моделирования и статистических испытаний [1-2].

Статистическая обработка контроля заводских железобетонных конструкций [3-4] позволяет считать, что распределение характеристик материалов и параметров конструкций подчиняется нормальному закону:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad 1)$$

где m – математическое ожидание,
 σ – среднеквадратичное отклонение.

На ЭВМ используется стандартная функция из соответствующей библиотеки $\text{rand}(x)$ для генерирования случайных равномерно распределенных чисел в интервале $[0; 1]$. Для их получения с нормальным законом распределения при математическом ожидании $M = 0$ и дисперсии $D = 1$ используют преобразование Бокса-Мюллера:

$$\begin{cases} \xi_1 = \sqrt{-2 \ln \gamma_1} \cdot \cos(2\pi\gamma_2) \\ \xi_2 = \sqrt{-2 \ln \gamma_1} \cdot \sin(2\pi\gamma_2) \end{cases}, \quad 2)$$

где γ_1, γ_2 – два независимых случайных числа с равномерным распределением; ξ_1, ξ_2 – два сопряженных числа с нормальным законом распределения (математическое ожидание $M = 0$ и дисперсия $D = 1$) [5].

Для исходных случайных величин с заданными значениями математического ожидания M и дисперсии D производится перерасчет:

$$\xi' = M + \sqrt{D} \cdot \xi_i. \quad 3)$$

На ориентацию фибр влияет их расположение по отношению к граням балки. Чем ближе центр фибры к грани балки, тем с большей вероятностью она будет ориентирована под малым углом к нормальной оси. Поэтому для моделирования распределения фибр в стержневых элементах сечение целесообразно разделить на два участка, на каждом из которых распределение углов наклона фибр осуществляется по нормальному закону с разными математическим ожиданием и дисперсией.

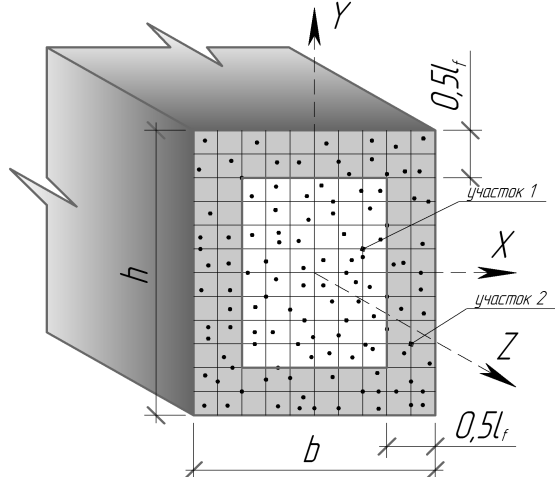


Рис. 1. Участки сечения балки с различным распределением значений угла наклона фибр к нормальной оси балки

Предлагаемый способ разделения сечения балки на участки показан на рис. 1. Толщина слоя вблизи граней балки выбрана равной половине длины фибры $0,5l_f$. Предлагается распределение углов ориентации фибр в сечении:

- для участка 1 - по нормальному закону с математическим ожиданием $M = 0$ и дисперсией $D = 0,2$:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,4\pi}} e^{-\frac{x^2}{0,4}}, \quad (4)$$

- для участка 2 - по нормальному закону с математическим ожиданием $M = 0,785$ и дисперсией $D = 0,4$:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,8\pi}} e^{-\frac{(x-0,785)^2}{0,8}}. \quad (5)$$

На рис. 2 показано предлагаемое для участка 2 сечения распределение значений углов ориентации фибр к оси нормальной сечения балки.

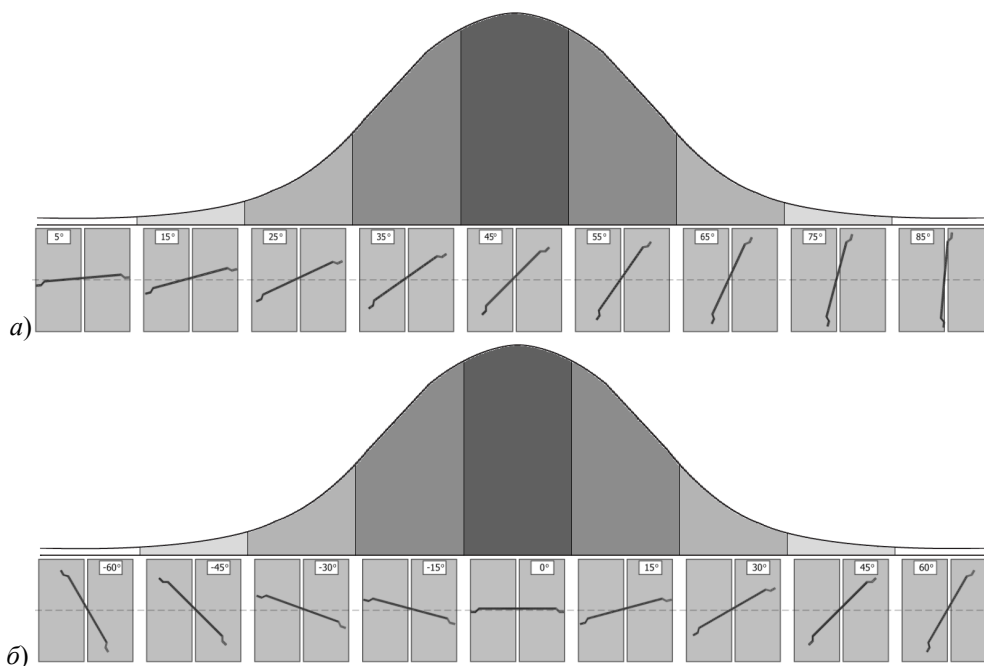


Рис. 2. Варианты нормальных распределений значений углов ориентации фибр в сечении балки: а) для участка 1, б) для участка 2

Анализ образцов после испытаний дал величину математического ожидания $M(\theta)$ и среднеквадратичного отклонения $S(\theta)$ угла ориентации волокон в сечении образцов: $M(\theta) \approx 0,6-0,8$ рад, $S(\theta) \approx 0,45-0,5$ [9].

На рис. 3 и 4 приведены результаты первых 10^3 разыгрываний угла ориентации фибр в центральном сечении для участка 1 (его среднее значение $\theta = 0,785$ рад.) и результаты первых 10^4 разыгрываний угла ориентации фибр в центральном сечении для участка 2 (его среднее значение $\theta = 0$ рад.).

Распределение значений заделки фибр в сечении принято равномерным со средним значением 15 и крайними 0 и 30 мм. Сопоставление фактических и теоретических значений характеристик ориентации фибр и их положения в нормальном сечении балок показывает расхождения не более 4%.

Таким образом, создана вероятностная математическая модель распределения стальных фибр в сечении фибробетонного элемента. Выбраны виды распределений случайных величин: угла ориентации фибры к оси элемента и глубины заделки фибр в сечении. Предложены функции нормального распределения значений углов ориентации фибр в нормальном сечении изгибаемого фибробетонного элемента.

Характеристики фибробетона обычно представляются в интегральном виде - умножением их для бетона без фибр на поправочные коэффициенты.

Предложим способ оценивать прочность фибробетона дифференцированным образом, то есть путём раздельного учета сопротивления бетона и фибр [6]. Тогда прочность фибробетонного элемента с произвольной ориентацией фибр на осевое сжатие (растяжение):

$$N = N_{b(t)} + N_{f(t)} = R_{b(t)} \left(A_{b(t)} - \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(t)}}{\cos \alpha_i} \right) + R_{f(t)} \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(t)}}{\cos \alpha_i} \quad (6)$$

где $R_{b(t)}$ и $R_{f(t)}$ – сопротивления бетона и фибр сжатию (растяжению); $A_{b(t)}$ и $A_{f(t)}$ – площади сжатого (растянутого) бетона и фибр; n – количество фибр в расчетном сечении; α_i – углы наклона фибр к расчетной оси элемента.

Формула (6) упрощена, так как предполагает анкеровку фибр, обеспечивающую их стопроцентный разрыв при выдёргивании. Но исчерпание сопротивления фибробетона растяжению происходит не только из-за обрыва некоторого числа фибр, но и из-за выдёргивания остальных фибр из бетона, что определяется их анкеровкой:

$$N = N_{b(t)} + N_{f(t)} = R_{b(t)} \left(A_{b(t)} - \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(t)}}{\cos \alpha_i} \right) + k_{f(t)} \sigma_{f(t)} \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(t)}}{\cos \alpha_i} \quad (7)$$

где $k_{f(t)}$ – коэффициенты, учитывающие неполную анкеровку фибр.

То есть расчётная прочность элемента с произвольной ориентацией фибр представляется как сумма расчетного сопротивления бетона, умноженного на его площадь (без учёта площади сечения фибр) и расчетного сопротивления фибр, умноженного на их суммарную площадь сечений.

Таким образом, для оценки НДС фибробетонных элементов необходимо определить расчетное распределение фибр по сечению элемента и расчетное распределение углов наклона фибр к оси элемента.

Численные исследования распределения вероятностей ориентации фибр по высоте сечения фиброармированных элементов

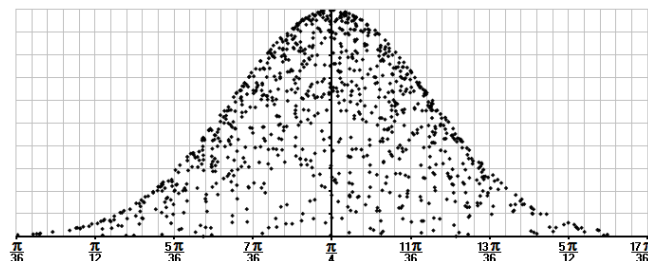


Рис. 3. Первые 10^3 результатов моделирования значений угла ориентации фибр в центральном сечении балки (участок 1)

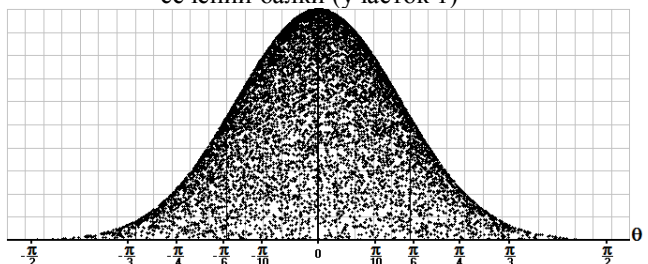


Рис. 4. Первые 10^4 результатов моделирования значений угла ориентации фибр в центральном сечении балки (участок 2)

Решение этих задач и определение всех членов формулы (6) открывает возможность расчета фибробетонного элемента и самого фибробетона на основе дифференцированного учета сопротивления бетона и фибр.

При произвольных распределении и ориентации фибр обе эти задачи можно решить путем определения какого-либо вероятностно-статистического закона, выявленного экспериментальными исследованиями или полученного путем подбора его на основании

сопоставления данных математической модели вероятностного распределения фибр с эмпирическими данными.

Определим вид и параметры распределения вероятностей ориентации фибр по высоте сечения, ориентируясь на примерные зависимости между сопротивлениями фибробетона и бетона без фибр сжатию (растяжению):

- при $\mu_{fv} = 1,0\%$: $R_{fb} = 1,2R_b$, $R_{fbt} = 1,35R_{bt}$;
- при $\mu_{fv} = 1,5\%$: $R_{fb} = 1,25R_b$, $R_{fbt} = 1,4R_{bt}$;
- при $\mu_{fv} = 2,0\%$: $R_{fb} = 1,3R_b$, $R_{fbt} = 1,46R_{bt}$.

Для моделирования расчетного распределения центров сечений фибр в плоскости нормального сечения и распределения значений длин заделок фибр используем непрерывное равномерное распределение величин.

Для моделирования расчетного распределения углов наклона фибр к оси элемента по высоте сечения рассмотрим варианты непрерывных распределений вероятностей: Коши, Лапласа и Гаусса.

Проведём их анализ для выбора оптимального распределения и оптимальных значений параметров функции плотности для него. Изменение дисперсии и среднего значения (математического ожидания) угла наклона фибр будет зависеть от расстояния до нулевой линии сечения (рис. 5). Чем дальше элементарный слой фибробетонного элемента от нулевой линии, тем с большей вероятностью угол наклона фибры будет равен 0° ; вблизи нулевой линии среднее значение угла наклона фибр будет стремиться к 45° .

Для определения оптимального вида распределения значений углов наклона фибр проведем численный эксперимент из следующих шагов:

Шаг 1. Выбираем сечение размером 120x120 мм и разбиваем его на двенадцать элементарных участков длиной 120 мм и высотой 10 мм.

Шаг 2. Задаём прочностные характеристики бетона $R_{bt(i)}$ и объёмное содержание фибровой арматуры μ_{fv} (%). Генерируем равномерное распределение центров фибр по всей площади сечения.

Шаг 3. Задаём вид непрерывного распределения значений угла наклона фибр к нормальному сечению балки.

Шаг 4. Задаём значения дисперсии D и математического ожидания M_0 для каждого элементарного слоя (для распределения Коши задаётся коэффициент масштаба и медиана соответственно). Вычисляем углы наклона фибр в 1-ом и 12-ом элементарных участках сечения (то есть $M_0 = 0^\circ$).

Шаг 5. Для элементарных участков 2...11 задаём значения математического ожидания:

$$\text{для участков 2...6 сечения: } M_i = M_0 + (i-1)\frac{\pi}{20}; \quad (9)$$

$$\text{для участков 11...7 сечения: } M_i = M_0 + (12-i)\frac{\pi}{20}.$$

Математическое ожидание изменяется по линейному закону: от участка 1 к 6 и от участка 12 к 7 (на 9° или на $\pi/20$ радиан) (рис. 6).

Шаг 6. Подбираем расчётные коэффициенты и вычисляем значение сопротивления фибробетона при осевом растяжении и сжатии по формуле

$$R_{fb(i)}^{расч} = \frac{R_{b(i)} \left(A_{fb(i)} - \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(i)}}{\cos \alpha_i} \right) + k_{f(i)} \sigma_{f(i)} \sum_{i=1}^n \frac{A_{f(i)}}{\cos \alpha_i}}{A_{fb(i)}}. \quad (10)$$

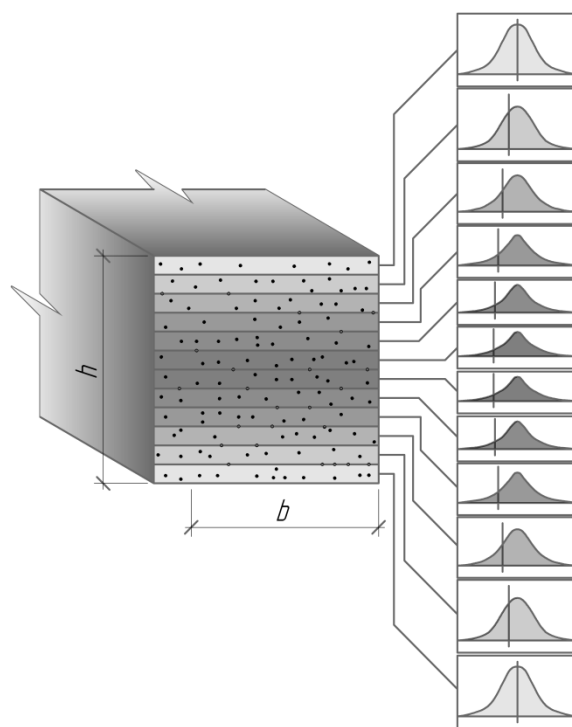


Рис. 5. Изменение параметров функции плотности вероятностей значений угла наклона фибр в сечении изгибаемого фибробетонного элемента

Шаг 7. Сравниваем значения сопротивления фибробетона осевому растяжению (сжатию) по формулам (10) и (8) и делаем вывод о применимости вида распределения углов наклона фибр для математического моделирования фиброармированных балок и расчёта их прочности на основе дифференцированного учета сопротивления бетона и фибр.

При проведении численного эксперимента варьировали прочность бетона при осевом сжатии R_b (МПа): 7,2; 10,3; 15,5; 20,0; 28,1; при осевом растяжении R_{bt} (МПа): 0,73; 1,0; 1,3; 1,6; 2,1; и объёмное содержание фибровой арматуры в изгибаемом элементе μ_{fv} (%): 1,0, 1,5, 2,0. Размеры сечения 120x120 мм. Сечение разбивалось на 12 участков длиной 120 мм и высотой 10 мм. Для численного эксперимента написана программа

«SFBT_Experiment» на языке JavaScript, позволяющая осуществлять генерацию распределения фибр в нормальном сечении фибробетонных балок.

Анализ результатов численного эксперимента привел к выводам:

1. Для распределения Гаусса оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,32$, $k_{fi} = 0,038$, дисперсии $D = 0,1$. В этом случае для моделирования углов наклона фибр к оси элемента по высоте сечения балки рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-M)^2}{0,2}\right). \quad (11)$$

2. Для распределения Коши оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,15$, $k_{fi} = 0,02$, дисперсии $D = 0,15$. В этом случае для моделирования множества значений углов наклона фибр рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{0,15}{(x-M)^2 + 0,0225} \right). \quad (12)$$

3. Для распределения Лапласа оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,25$, $k_{fi} = 0,03$, дисперсии $D = 0,2$. В этом случае рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,4}} \exp(-\sqrt{10}|x-M|). \quad (13)$$

4. Для моделирования углов наклона фибр к оси элемента по высоте сечения балки оптимальным является нормальное распределение Гаусса.

В формулах (11)-(13) коэффициент M рассчитывается для каждого элементарного слоя по формулам (9). Для середины сечения балки (при $M = \pi/4$) графики функций плотности вероятностей рассмотренных распределений представлены на рис. 6.

Таким образом, выполнен численный эксперимент по определению оптимального вида распределения углов наклона фибр для построения вероятностной математической модели их распределения по высоте нормального сечения фибробетонного элемента. Предложены функции, описывающие плотности вероятностей распределений Гаусса, Коши и Лапласа. Для моделирования углов наклона фибр к оси балок по высоте сечения рекомендовано использовать нормальное распределение Гаусса.

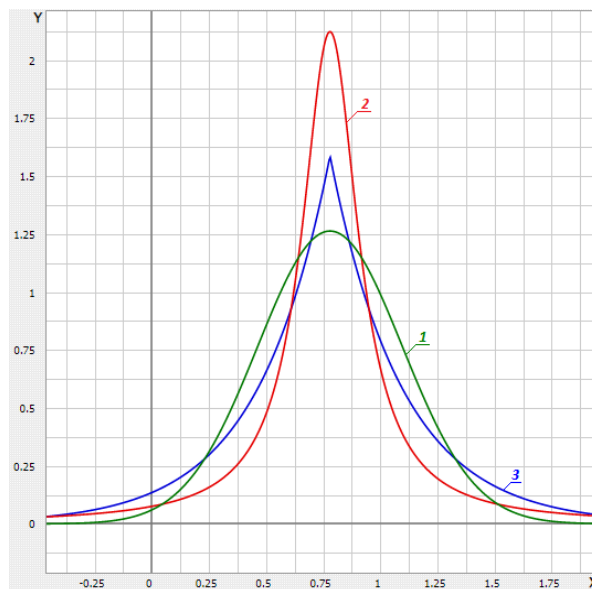


Рис. 6. Графики функций плотности вероятностей при $M = \pi/4$ для непрерывных распределений: 1 – Гаусса, 2 – Коши, 3 – Лапласа.

Комплексные численные исследования распределения вероятностей ориентации фибр по высоте и ширине сечения фиброармированных элементов

Используя тот же способ, определим также вид и параметры распределения вероятностей ориентации фибр не только по высоте, но и по ширине нормального сечения в комплексе.

Для моделирования распределения углов наклона фибр к оси элемента по высоте и ширине сечения проанализируем те же варианты распределений вероятностей: Коши, Лапласа и Гаусса.

Изменение дисперсии и среднего значения угла наклона фибр будет зависеть от расстояния до средней линии сечения (рис. 7). Чем дальше элементарный участок фибробетонного элемента находится от оси сечения, тем с большей вероятностью угол наклона фибры будет равен 0° ; вблизи нулевой линии среднее значение угла наклона фибр будет стремиться к 45° .

Выполним для численный эксперимент из следующих шагов:

Шаг 1. Выбираем сечение размером 120x120мм и разбиваем его на 144 элементарных участка размером 10 x 10 мм.

Шаг 2. Задаём прочностные характеристики бетона $R_{b(t)}$ и объёмное содержание фибровой арматуры μ_{fv} (%). Генерируем равномерное распределение центров фибр по всей площади сечения.

Шаг 3. Задаём вид непрерывного распределения значений угла наклона фибр к нормальному сечению балки.

Шаг 4. Задаём значения дисперсии D и математического ожидания M_0 для каждого элементарного участка (для распределения Коши задаётся коэффициент масштаба и медиана).

Средние значения углов наклона фибр будут изменяться по линейному закону (9).

Шаг 5. Подбираем расчётные коэффициенты и вычисляем по формуле (10) значение сопротивления фибробетона при осевом растяжении и сжатии.

Шаг 6. Сравниваем расчётное и теоретическое значения сопротивления фибробетона осевому растяжению (сжатию) и делаем вывод о применимости исследуемого вида распределения углов наклона фибр для математического моделирования работы фиброармированных балок и расчёта их прочности на основе дифференцированного учета сопротивления бетона и фибр.

В численном эксперименте варьировались прочности бетона R_b (МПа): 7,2; 10,3; 15,5; 20,0; 28,1; R_{bt} (МПа): 0,73; 1,0; 1,3; 1,6; 2,1; и μ_{fv} (%): 1,0; 1,5; 2,0. Численный эксперимент проводился с использованием созданной программы «SFBT_Expregiment», позволяющей осуществлять генерацию распределения фибр в нормальном сечении фибробетонных балок.

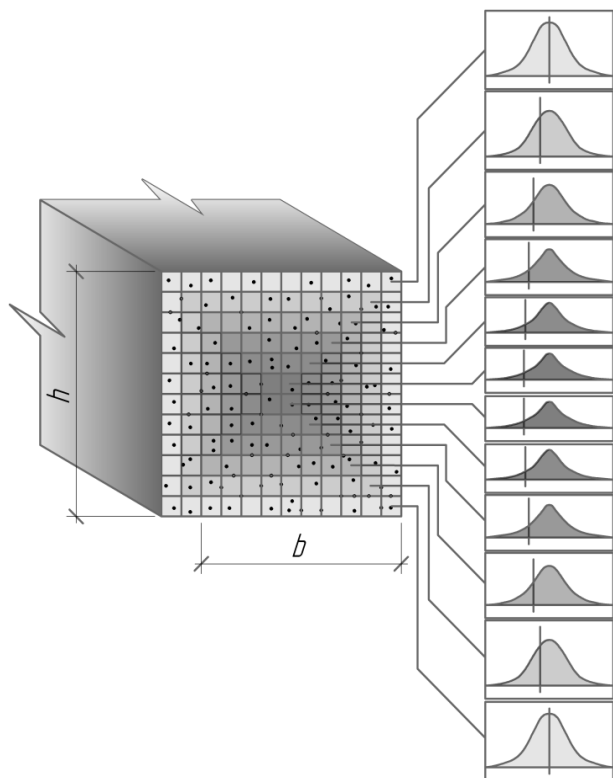


Рис. 7. Изменение параметров функции плотности вероятностей значений угла наклона фибр в сечении изгибаемого фибробетонного элемента

Анализ результатов комплексного численного эксперимента по высоте и ширине сечения позволил сделать следующие выводы:

1. Для нормального распределения Гаусса оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,336$, $k_{fi} = 0,05$, дисперсии $D = 0,2$. Для моделирования углов наклона фибр к оси по высоте

и ширине сечения рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,4\pi}} \exp\left(-\frac{(x-M)^2}{0,4}\right). \quad (14)$$

2. Для распределения Коши оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,25$, $k_{fi} = 0,035$, дисперсии $D = 0,18$. В этом случае для моделирования множества значений углов наклона фибр рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{0,18}{(x-M)^2 + 0,0324} \right). \quad (15)$$

3. Для распределения Лапласа оптимальными являются значения коэффициентов $k_f = 0,25$, $k_{fi} = 0,037$, дисперсии $D = 0,2$. В этом случае рекомендуется генерировать случайную величину с плотностью вероятности:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{0,4}} \exp(-\sqrt{10}|x-M|). \quad (16)$$

4. Для моделирования множества значений углов наклона фибр к оси элемента по высоте и ширине сечения балки наиболее оптимальным является нормальное распределение Гаусса.

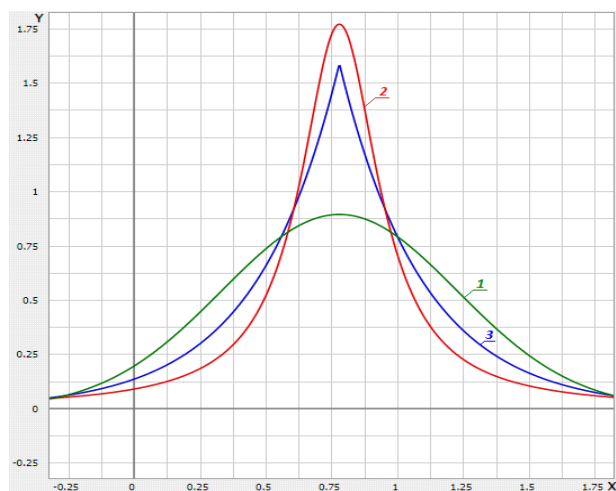


Рис. 9. Графики функций плотности вероятностей при $M = \pi/4$ для распределений: 1 – Гаусса, 2 – Коши, 3 – Лапласа.

В формулах (14)-(16) коэффициент M рассчитывается для каждого элементарного слоя по формулам (9) с соблюдением линейной зависимости по высоте и ширине сечения. Для середины сечения балки (при $M = \pi/4$) графики функций плотности вероятностей рассмотренных распределений представлены на рис. 9.

Таким образом, определен оптимальный вид распределения углов наклона фибр для построения вероятностной математической модели распределения по высоте и ширине сечения нормального сечения фибробетонного элемента. Предложены функции, описывающие плотности вероятностей распределений Гаусса, Коши и Лапласа для моделирования углов ориентации фибр. Выявлено, что для моделирования по высоте и ширине сечения балки углов наклона фибр к центральной оси наиболее предпочтительно использование нормального распределения Гаусса.

Вероятностная математическая модель распределения углов наклона фибр в сечении балок и ее апробация

На основе алгоритма нелинейного расчёта прочности элементов с фибровым армированием создана программа для ЭВМ «Вероятностно-детерминированное моделирование работы изгибаемых элементов из сталефибробетона с учётом физической нелинейности» [7], на которую получено свидетельство о госрегистрации программ для ЭВМ №2016614115.

Расчёт прочности изгибаемого фиброармированного элемента производился с

дифференцированным учётом сопротивления бетона и фибр. Для моделирования распределения центров сечений фибр в нормальном сечении и распределения значений длин заделок фибр использовалось равномерное распределение величин. Для моделирования распределения углов наклона фибр к оси балки использовалось распределение Гаусса, функция плотности вероятности которой задавалось уравнением (14).

Проверка предложенной вероятностной математической модели распределения углов наклона фибр по высоте и ширине сечения балок производилась сравнением результатов программы (диаграммы «прогиб-момент») с результатами натурных экспериментов - железобетонных перемычек с содержанием фибровой арматуры 0,5; 1,0 и 1,5%.

На рисунке 10 показаны полученные эпюры напряжений на различных стадиях нагружения с содержанием фибровой арматуры 0,5; 1,0 и 1,5%.

В целом, проведенные численные и экспериментальные исследования подтвердили применимость разработанной методики вероятностного моделирования распределения значений углов наклона фибр по высоте и ширине сечения фиброармированных балок.

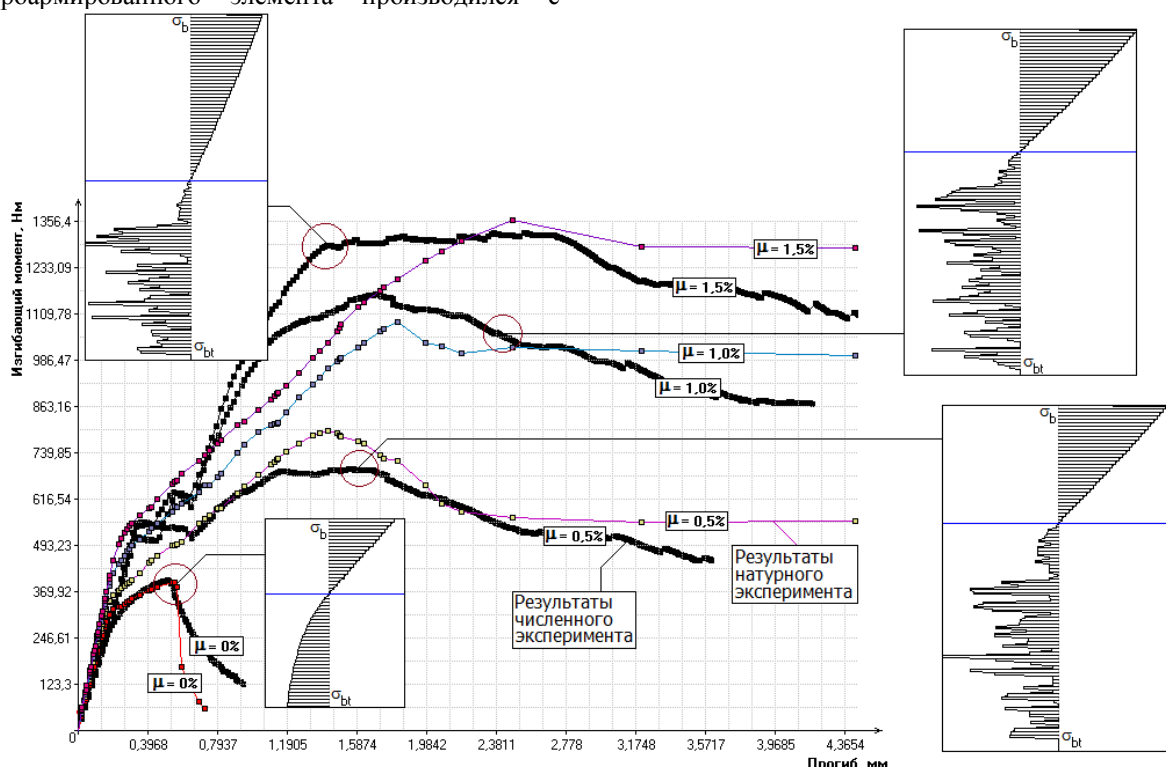


Рис. 10. Распределение напряжений в сжатой и растянутой зонах сечения изгибаемого фибробетонного элемента.

Таким образом, получена вероятностная математическая модель распределения стальных фибр в сечении фибробетонного элемента. В качестве закона распределения значений угла наклона фибр в сечении принято нормальное распределение. На основе численного эксперимента определены расчётные параметры функции плотности вероятностей нормального

распределения, позволяющие построить адекватную вероятностную модель распределения фибр в фиброармированной балке.

Выводы

1. Создана вероятностная математическая модель распределения стальных фибр в сечении фибробетонного элемента с выбором видов распределений случайных величин: угла ориентации



фибры к оси элемента и глубины заделки фибр в сечении. Предложены функции нормального распределения их значений в сечении изгибаемого фибробетонного элемента.

2. Выполнен численный эксперимент по определению оптимального вида распределения углов наклона фибр для построения вероятностной математической модели их распределения по высоте нормального сечения изгибаемого фибробетонного элемента. Предложены функции, описывающие плотности вероятностей распределений Гаусса, Коши и Лапласа для моделирования углов ориентации фибр, для расчетного моделирования рекомендовано использовать нормальное распределение Гаусса.

3. Проведен комплексный численный эксперимент по определению оптимального вида распределения углов наклона фибр для построения вероятностной математической модели распределения по высоте и ширине сечения нормального сечения изгибаемого фибробетонного элемента. Предложены функции, описывающие плотности вероятностей распределений Гаусса, Коши и Лапласа для моделирования углов ориентации фибр, выявлено, что наиболее предпочтительно нормальное распределение Гаусса.

4. Предложена вероятностная математическая модель распределения стальных фибр в сечении фибробетонного элемента, в качестве закона распределения значений угла наклона фибр по высоте и ширине сечения принято нормальное распределение Гаусса, определены расчётные параметры функции плотности вероятностей распределения.

5. Проведенные численные и экспериментальные исследования подтвердили достоверность разработанных вероятностной математической модели и методики вероятностного моделирования распределения значений углов наклона фибр по высоте и ширине сечения фиброармированных балок.

6. Для инженерных расчетов создана программа «Вероятностно-детерминированное моделирование работы изгибаемых элементов из сталефибробетона с учётом физической нелинейности», на которую получено свидетельство о госрегистрации программ для ЭВМ №2016614115.

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

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.

Библиографический список

1. Райзер, В. Д. Теория надежности в строительном проектировании: Монография / В.Д. Райзер - М.: Изд-во АСВ. – 1998. – 304 с.
2. Самарин, Ю.А. Резервы надежности и долговечности железобетонных конструкций заводского изготовления / Ю.А. Самарин, Г.В. Коваленко, М.Т. Орлов – М.: Информэнерго. – 1988. – 44 с.
3. Краснощеков, Ю. В. Вероятностные характеристики несущей способности железобетонных конструкций по нормальным сечениям / Ю.В. Краснощеков // Бетон и железобетон. – 2001. – №3. – С.7-9.
4. Чирков, В.П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций : учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / В. П. Чирков. – М.: Маршрут, 2006. - 618 с.
5. Box, G.E.P. A note on the generation of random normal deviates / G.E.P. Box, M.E. Muller // Ann. Math. Statist. – June, 1958. – Vol.29(2). – pp.610-611.
6. Шилов, П. . Изгибаемые железобетонные элементы с агрегированным ориентированным фибровым армированием как альтернативой линейному армированию сжатой и предварительному напряжению растянутой зон: канд. дисс. / П.А. Шилов. – Ростов-на-Дону. – 2023.
7. Корнеев, А. М. Программный комплекс имитационного моделирования процесса изменения напряженно-деформированного состояния неоднородных анизотропных объектов / А. М. Корнеев, О. П. Бузина, А. В. Суханов // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 1. – С. 41-45. – EDN XVWVVB.



Научная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

DOI 10.51608/26867818_2024_3_112

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

© Авторы, 2024

SPIN: 5316-5749

ТАРАКАНОВ Олег Вячеславович

доктор технических наук, профессор

*Пензенский государственный университет архитектуры
и строительства (Россия, Пенза, e-mail: tarov60@mail.ru)*

ФИШЕР Ханс-Бертрам

доктор технических наук, профессор

*Технический университет
(Германия, Веймар)*

Аннотация. Обоснована целесообразность применения в технологии высокопрочных бетонов нового поколения тонкомолотых микронаполнителей, получаемых на основе отходов камнедробления и минеральных шламов. Показана возможность получения бетонов прочностью 140 МПа и выше на основе кварцевых наполнителей и фракционированных песков с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, не превышающим 6-6,5 кг/МПа. Разработаны реакционно-активные суспензионные тонкозернистые бетоны.

Ключевые слова: высокопрочные бетоны нового поколения; минеральные микронаполнители; фракционированные пески; микрокварц; отходы камнедробления; шламы; суперпластификаторы; гидратация; твердение; прочность; гидратные фазы; строительные материалы

Для цитирования: Принципы получения высокопрочных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов / О.В. Тараканов, Х.-Б. Фишер // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 112-117. doi 10.51608/26867818_2024_3_112

Original article

PRINCIPLES OF OBTAINING HIGH-STRENGTH CONCRETE USING LOCAL RAW MATERIALS

© The Author(s) 2024

TARAKANOV Oleg Vyacheslavovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza, e-mail: tarov60@mail.ru)*

FISCHER Hans-Bertram

Dr. of Technical, Prof.

Technical University (Germany, Weimar)

Abstract. The expediency of using fine-ground microfillers obtained on the basis of stone crushing waste and mineral slurries in the technology of high-strength concretes of a new generation is substantiated. The possibility of obtaining concretes with a strength of 140 MPa and higher based on quartz fillers and fractionated sands with a low specific consumption of cement per unit strength not exceeding 6-6.5 kg/MPa is shown. Reactive suspension fine-grained concretes have been developed.

Keywords: high-strength concretes of new generation; mineral microfillers; fractionated sands; microquartz; stone crushing waste; slimes; superplasticizers; hydration; hardening; strength; hydrate phases; buildind materials

For citation: Principles of obtaining high-strength concrete using local raw materials / O.V. Tarakanov, H.-B. Fischer // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 112-117 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_112



Бетон является основным современным конструкционным материалом, и его свойства и долговечность во многом определяются параметрами микро- и макроструктуры. Исследования долговременной прочности бетона показывают, что она может изменяться в зависимости от условий эксплуатации, в результате чего график изменения прочности имеет «волнообразный» характер, свидетельствующий о периодических спадах и росте прочности бетона. Подобные явления объясняются процессами кристаллизации и перекристаллизации гидратных фаз цементного камня в зависимости от изменения параметров температуры и влажности. Наибольший вклад в процессы перекристаллизации вносят гидроалюминаты кальция (AFm-фазы), в состав которых входит большое количество гидратной воды, которая может высвободиться и способствовать изменению (разуплотнению) структуры и пористости цементного камня.

Многие исследования, посвященные характеру изменения прочности бетона во времени, свидетельствуют о ее интенсивном росте в период до 28 сут и дальнейшем медленном нарастании в период 60 сут и более [1-4]. Однако находясь длительное время в климатических условиях, многократно изменяющихся в течение календарного года, бетон как пористый материал реагирует на эти условия, в его структуре возникают хотя и небольшие, но ощутимые внутренние напряжения.

В этой связи для отдельных эксплуатационных условий рекомендуются бетоны ускоренного твердения, изготавливаемые с применением процессов автоклавирования, термовлажностной обработки и т. д. [5-10].

В полиминеральных вяжущих реакции гидратации протекают в одной системе и могут оказывать взаимное влияние друг на друга, поэтому и продукты гидратации могут существенно отличаться от состава таковых при гидратации силикатных или алюминатных фаз. В этом случае гидратация и твердение цемента представляют собой комплекс сложных химических и физико-химических взаимодействий безводных частиц с водой, в результате которых формируются гидратные фазы различной основности и кристаллохимического строения, переплетающиеся между собой.

На раннем этапе гидратации, когда система находится в пластичном состоянии, образуются коагуляционные контакты, вокруг цементных частиц и наполнителя формируются адсорбционно-сольватные слои, толщина которых зависит от дисперсности и зарядового состояния частиц. В начальный период формируются кристаллизационные структуры AFm- и AFt-фаз. Наиболее интенсивно они образуются в течении 2...24 ч и способствуют созданию первичного кристаллизационного каркаса. В последующем

система приобретает структурную прочность, между частицами создаются кристаллизационные контакты за счет образования и роста кристаллов в диффузном потоке. Контакты между частицами образуются за счет формирования на поверхности цементных частиц и в пустотах пластинчатых и стержневидных кристаллов AFm- и AFt-фаз, гелеобразного продукта C—S—H фаз в форме игол, пластинок и волокон [11].

Применение активных минеральных добавок и техногенных шламов в производстве строительных растворов и бетонов способствует не только улучшению технологических свойств смесей и повышению физико-механических характеристик, но и оказывает значительное влияние на процессы схватывания и формирования прочности цементных материалов.

В современной технологии традиционных и высокопрочных бетонов широкое распространение получили комплексные органоминеральные добавки, представляющие собой смесь тонкодисперсного микронаполнителя и супер- или гиперпластификатора (СП и ГП). В качестве микронаполнителя целесообразно использовать тонкомолотые материалы, получаемые на основе плотных и прочных горных пород (гранит, диабаз, базальт и др.). Кроме того, в последние годы значительный интерес представляют микронаполнители на основе карбонатных пород. Минеральные добавки вводятся с целью повышения эффективности СП и ГП, поскольку, в отличие от цемента, они не вступают в реакции гидратации и не связывают значительное количество жидкой фазы. Достаточно известно, например, что микронаполнители, полученные помолотом плотных и прочных горных пород, значительно лучше разжижаются в присутствии СП и ГП, что позволяет при введении их в цементные системы повысить эффективность СП и ГП и, соответственно, в большей степени снижать водопотребность смесей и достигать большей прочности. В составе бетонов нового поколения минеральные микронаполнители вводятся в количестве от 20 до 100% от массы цемента [12-15].

В этом случае при расходе цемента в пределах 400-500 кг/м³ возможно получать прочность бетонов нового поколения в пределах 150-170 МПа.

Применение тонкодисперсных микронаполнителей в традиционных бетонах (с расходом цемента 200-300 кг/м³) в количестве 80-100% от массы цемента позволяет получать бетоны с низким удельным расходом цемента на единицу прочности ($K_{уд} = \frac{C_{кг}}{R_{МПа}} = 3,5 - 5$).

При проектировании составов бетонов с органоминеральными добавками важным является использование микронаполнителей, обладающих не только реологической, но также гидратационной активностью. В этом случае в процессе гидратации создается возможность формирования гидратных фаз не только на поверхности частиц цемента, но



также на поверхности частиц микронаполнителя. Возможность эпитаксиального наращивания гидратов на минеральных частицах реализуется если параметры кристаллических решеток различаются не более, чем на 15%. К подобным минералам относятся, например, карбонатные породы. Достаточно высокая эффективность применения в технологии высокопрочных бетонов микрокварца и смеси кварцевого песка.

С целью изучения влияния комплексных добавок на кинетику твердения и прочность бетона нового поколения были выполнены исследования с добавками на основе СП, микрокварца и кварцевого песка. Результаты, представленные в таблице 1, свидетельствуют о возможности получения прочности бетона нормального твердения в пределах 140 МПа и выше.

Таблица 1

Кинетика твердения и прочность бетона с органоминеральными добавками

Состав бетона	Расход материалов на 1 м ³ (кг)	ВЦ/ВТ	Плотность бетона ρ , кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		
				1 сут.	7 сут.	28 сут.
ЦЕМ I 42,5 Н с добавкой Melflux 1641F – 1% от Ц	690	0,342	2333	92,0	116,0	146,0
Микрокремнезем	77					
Микрокварц $S_{уд}=2600$ см ² /г	344					
Песок тонкозернистый, мытый фр. 0,315÷0,63 мм	1033					
Вода	236					
ЦЕМ I 42,5 Н	722	0,302	2376	49,6	126	142
Микрокремнезем	79					
Микрокварц $S_{уд}=3130$ см ² /г	332					
Песок фр. 0,315÷1,25 мм	1046					
Melflux 2641F 0,19% от Ц	6,5					
Вода	218					

Задачей строительного материаловедения является не только исследование процессов гидратации и твердения модифицированных минеральных вяжущих веществ, но и расширение области применения в строительстве огромного количества минеральных отходов камнедробления и шламовых отходов промышленности.

В США и Западной Европе подобные отходы используются на 85–90%, в то время, как для России этот показатель составляет лишь 20–25%, а в отвалах и на полигонах накоплено около 90 млрд т твердых отходов. В отсевах камнедробления находятся самые высокопрочные фракции щебня 3–5 и 5–10 мм, т.к. при дроблении происходит обогащение материала по прочности и разрушение проходит по наиболее слабым дефектным зонам. Зарубежный опыт проектирования высокопрочных бетонов свидетельствует о том, что наибольшая эффективность в них достигается при использовании щебня с крупностью зерен 10–16 мм. Для самоуплотняющихся бетонов предпочтительными являются фракции до 10 мм. При использовании мелких щебеночных зерен значительно улучшается растекаемость смесей вследствие повышенной взвешивающей способности цементного теста из-за снижения сил трения между контактами мелкого щебня, в отличие от крупного. Отсевы камнедробления фракции 0–3 мм могут быть широко использованы в качестве сырья для получения каменной муки для производства высокопрочных и

особовысокопрочных бетонов прочностью 150 МПа и выше. Каменная, известняковая, кварцевая, базальтовая, гранитная и т.д. мука в подобных бетонах является обязательным компонентом в смешанной цементно-минеральной системе. Причем, в составе бетона каменная мука не заменяет цемент, а дополняет его, создавая дополнительный объем водно-дисперсной матрицы, повышая тем самым эффективность СП и ГП, снижая расход воды и способствуя повышению прочности и улучшению целого ряда эксплуатационных свойств. Одним из основных потребителей минерального сырья является промышленность строительных материалов и, главным образом, это относится к многокомпонентным бетонам нового поколения (БНП). В подобных бетонах количество минеральных микронаполнителей может достигать до 100% массы цемента, и отличительной особенностью БНП является использование тонкомолотых микронаполнителей с целью увеличения объема реологически активной матрицы с целью увеличения водоредуцирующего эффекта и снижения водопотребности бетонных смесей. Другой важнейшей целью является использование микронаполнителей для повышения гидратационной активности и уплотнения структуры бетона. Вполне естественно, что не все микронаполнители могут быть эффективно использованы в качестве гидратационно и реологически активных добавок. Например, пористые материалы, такие как опоки,



диатомиты и некоторые другие, не повышают реологическую активность бетонных смесей, однако, подобные материалы могут широко использоваться, например, в качестве адсорбентов при ликвидации разливов органических веществ и т.д.

В технологии бетонов нового поколения предпочтение отдается материалам, полученным помолот прочных и плотных горных пород с низким показателем водопоглощения. С точки зрения гидратационной активности предпочтение отдается кремнесодержащим и карбонатным породам.

Все больше внимания в технологии бетона в последние годы уделяется использованию фракционированных песков. В то же время, тонкомолотые пески в меньшей степени, чем другие минеральные порошки и цементы, подвержены разжижающему влиянию СП и ГП вследствие отрицательно заряженной поверхности кварца за счет силосановых групп. Однако, в присутствии сложного ионного раствора жидкой фазы цементных систем может происходить изменение зарядового состояния частиц песка, и характер влияния СП и ГП на цементно-песчаные системы может значительно измениться [18].

При дроблении горных пород на щебень образуется большое количество некондиционного сырья фракции от 0 до 5 мм (10-15 % и более от объемов добычи). В этом отсеке сосредоточена основная часть наполнителей и заполнителей для производства всех видов бетона нового поколения: порошкового, порошково-активированного, песчаного и щебеночного. Пылевидная и часть более грубой фракции могут использоваться для получения каменной муки, другие фракции – для получения тонкого и грубого дробленого песка. Варианты использования той или иной фракции определяются исходя из ситового анализа общей широкой фракции 0-5 мм. В настоящее время для получения каменной муки (КМ) применяется кварцевый песок вследствие его более широкой распространенности. Гранулометрия природных песков большинства регионов России для выделения из них необходимой фракции тонкого песка диаметром 0,16-0,63 мм и крупной фракции диаметром 0,63-5,0 мм очень ограничена. Более крупные отсеки камнедробления открывают широкие возможности для их использования в горнодобывающих регионах.

Разработаны реакционно-активные суспензионные тонкозернистые бетоны являются самоуплотняющимися, высокопрочными, с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, не превышающем 6,5 кг/МПа. Такие бетоны обладают высокой прочностью на сжатие – не ниже 100 МПа. Для их изготовления используются микронаполнители из горных пород различного генетического происхождения с различным химико-минералогическим составом. Это открывает широкие возможности применения местных природных нерудных ископаемых различных

регионов России, а также техногенных отходов от камнедробления на горнодобывающих карьерах, выпускающих лишь щебень для производства бетонов, асфальтобетонных смесей и устройства железнодорожного полотна. Дополнительно горно-обогатительные комбинаты могут выпускать каменную муку, тонкий дробленый песок фр. 0,1-0,5 мм или 0,16-0,63 мм и песок-заполнитель фр. 0,1 (0,16) мм.

При изучении возможности использования тонкомолотых горных пород и отсеков в качестве наполнителей и заполнителей бетона важным фактором является расчет структурной топологии цементных систем, что позволяет определять оптимальные параметры дисперсности микронаполнителей с целью создания условий для заполнения пространства между частицами цемента и заполнителя и уплотнения структуры. По нашим исследованиям оптимальным значением показателя удельной поверхности микронаполнителя является 3-4 тыс. см²/г. При увеличении этого параметра снижается реологическая активность минеральных добавок в присутствии суперпластификаторов.

Другим важным фактором является анализ зарядового состояния поверхности частиц микронаполнителя и исследование состава гидратных фаз цементно-минеральных систем. В работе [19] показано, что при гидратации цемента в системе образуются псевдокристаллические продукты-гидраты силикатов кальция с переменной стехиометрией (ГСК), которые могут переходить из одного состояния в другое. В присутствии органических добавок на ранних этапах гидратации нарушается нормальный порядок формирования ГСК, а инородные ионы добавок могут существенно нарушить структуру кремнекислородных мотивов. На алюминатные фазы органические добавки действуют как стабилизаторы AFm-фаз и с течением времени в процессе их перекристаллизации происходит разуплотнение структуры, что может оказать негативное влияние на состояние смешанной гидросиликатно-гидроалюминатной структуры.

Таким образом, важнейшими вопросами современной технологии высокопрочных бетонов являются комплексные исследования не только реологических и физико-химических свойств, но в совокупности с анализом состояния микроструктуры цементно-минеральных систем.

Библиографический список

1. Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. М. : Стройиздат, 1975. 700 с.
2. Макридин, Н. И. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 1 / Н. И. Макридин, И. Н. Максимова, Ю. В. Овсякова // Строительные материалы. – 2010. – № 10. – С. 74-77. – EDN NBIEP.



3. Дворкин, Л. И. Основы бетоноведения / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин ; Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. – Санкт-Петербург : Строй Бетон, 2006. – 691 с. – ISBN 5-903197-02-7. – EDN QNMNYB.
4. Yalçinkaya Ç., Yazıcı H. Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures. *Construction and Building Materials*. 2017. DOI.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.198.
5. Yazıcı H., Deniz E., Baradan B. The effect of autoclave pressure, temperature and duration time on mechanical properties of reactive powder concrete // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 42. Pp. 53–63.
6. Efficiency of metakaolin in steam cured high strength concrete / P. Shen, L. Lu, W. Chen, F. Wang, S. Hu // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 152. Pp. 357–66.
7. Rojas M.F., Cabrera J. The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin-lime-water systems. *Cement and Concrete Re-search*. 2002. DOI.org/10.1016/S0008-8846(01)00642-1.
8. Hiremath P.N., Yaragal S.C. Effect of different curing regimes and durations on early strength development of reactive powder concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 154. Pp. 72–87.
9. Helmi M, Hall MR, Stevens LA, Rigby SP. Effects of high-pressure/temperature curing on reactive powder concrete microstructure formation // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. Pp. 554–62.
10. Arabi N., Jauberthie R., Chelghoum N., Molez L. Formation of C-S-H in calcium hydroxide-blast furnace slag-Quartz-water system In autoclaving conditions // *Advances in Cement Research*. 2015. Vol. 27 Iss. 3. Pp. 153–162.
11. Тараканов, О. В. Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья / О. В. Тараканов ; О. В. Тараканов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Междунар. акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Пензен. гос. ун-т архитектуры и стр-ва. – Пенза : Пензен. гос. ун-т архитектуры и стр-ва, 2004. – 563 с. – ISBN 5-9282-0216-4. – EDN QNKXDJ.
12. Тейлор Х. Ф. Химия цементов. М. : Мир, 1996. 529 с
13. К вопросу о корреляции усадки и прочности бетонов / И. Н. Максимова, Т. К. Акчурин, Н. И. Макридин [и др.] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2015. – № 3(39). – С. 6. – EDN VDGUBX.
14. Тараканов, О. В. Гидратация и твердение цементных материалов с добавками минеральных шламов / О. В. Тараканов, Т. В. Пронина ; О. В. Тараканов, Т. В. Пронина; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Международная акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства". – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2006. – 150 с. – ISBN 5-9282-0379-9. – EDN QNMNJB.
15. Оценка влияния карбонатного микронаполнителя на кинетику начального структурообразования и состав гидратных фаз цементных систем / О. В. Тараканов, В. И. Калашников, Е. А. Белякова, К. А. Стешкина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 40-46. – EDN SFOZVB.
16. Тараканов, О. В. Снижение расхода цемента в бетонах нового поколения / О. В. Тараканов, Е. А. Белякова, О. В. Суздальцев // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1(50). – С. 18-22. – DOI 10.54734/20722958_2022_1_18. – EDN SHUPPF.
17. Теоретические предпосылки высокой поверхностной реакционной активности карбонатов в формировании прочности карбонатно-цементных и карбонатно-шлаковых вяжущих / В. И. Калашников и др. // В академ. чтения РААСН. Воронеж, 1999. С. 181–187.
18. Расширение базы комплексных органоминеральных добавок в технологии бетона / О. В. Тараканов, Т. К. Акчурин, Е. А. Белякова, Р. Н. Москвин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 3(88). – С. 97-107. – EDN OLGSSP.
19. Тараканов, О. В. Влияние карбонатных минеральных добавок на формирование микроструктуры и прочность минеральных вяжущих веществ / О. В. Тараканов, Ю. Г. Иващенко, И. В. Ерофеева // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 1(58). – С. 47-58. – DOI 10.54734/20722958_2024_1_47. – EDN DQBVJX.

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



Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.

Научная статья

УДК 69.04

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

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_118

МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА. ЧАСТЬ 2. ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ

© Авторы 2024

SPIN: 4845-3197

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

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

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

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

SPIN: 7034-9735

СЕЛЯЕВ Павел Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные
конструкции»

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

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

SPIN: 5073-7377

БАБУШКИНА Дельмира Рафиковна

аспирант кафедры «Строительные конструкции»

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

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

Аннотация. В статье рассмотрена фрактальная модель разрушения бетона под действием сжимающих нагрузок. Определены условия, при выполнении которых возможна реализация одного из механизмов разрушения – отрывного или сдвигового. Показано, что разрушение образца по отрывному механизму происходит под действием вторичного поля напряжений.

Ключевые слова: бетон; сжатие; растяжение; прочность; разрушение; фрактал; модель; механика деформируемого твердого тела

Для цитирования: Механика разрушения бетона. Часть 2. Фрактальная модель разрушения бетона при сжатии / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Д.Р. Бабушкина // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 118-122. doi 10.51608/26867818_2024_3_118



Original article

THE MECHANICS OF CONCRETE DESTRUCTION. PART 2. FRACTAL MODEL OF CONCRETE DESTRUCTION DURING COMPRESSION

© The Author(s) 2024

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)*

SELYAEV Pavel Vladimirovich

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

BABUSHKINA Delmira Rafikovna

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

Abstract. The article considers a fractal model of concrete destruction under the action of compressive loads. Conditions have been determined under which it is possible to implement one of the mechanisms of destruction - tear-off or shear. It has been shown that destruction of the sample occurs by separation mechanism under the action secondary stress field.

Keywords: concrete; compression; tension; strength; fracture; fractal; model; mechanics of deformable solid body

For citation: Selyaev V.P., Selyaev P.V., Babushkina D.R. The mechanics of concrete destruction. Part 2. Fractal model of concrete destruction during compression // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 118-122 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_118

Первая часть [см. 8] статьи опубликована ранее.

Проблема разрушения твердого тела до сих пор вызывает повышенное внимание, так как появляются новые материалы, новые экспериментальные данные. Формируются повышенные требования к надежности и долговечности конструкций, зданий и сооружений.

Под разрушением материала принято понимать разделение твердого тела на части под действием механических, физических, химических нагрузок.

На первоначальном этапе развития теории деформируемого твердого тела, разрушение рассматривается как мгновенный акт, наступление которого связывают с достижением величиной, того или иного критерия, определенного предельного значения [1].

На современном этапе разрушение твердого тела рассматривают как процесс, протекающий в определенной последовательности развития

различных стадий эволюции структуры материала под действием нагрузок.

В результате экспериментальных исследований установлено, что прочность твердого тела зависит от его структуры. Прочностные, деформативные свойства, процесс разрушения любого материала, в значительной степени определяются неоднородностью его строения, дефектами структуры [2].

Рентгеноскопическими, ультразвуковыми методами установлено, что структура бетона весьма неоднородна и может быть представлена в виде капиллярно-пористой системы, состоящей из: матрицы в виде цементного камня; зерен крупного и мелкого заполнителя; пор и пустот, заполненных воздухом и водой [3].

В литературе нет единого мнения о процессе разрушения структуры бетона под действием сжимающих нагрузок.

Под действием осевого сжатия в бетонном образце возникают как продольные сжимающие, так и поперечные растягивающие напряжения (вторичное поле напряжений), распределение и величина которых в пределах поперечного сечения будут отличаться от средних значений, определяемых методами сопротивления материалов. Концентрация напряжений возможна на границе матрицы с жесткими частицами, пустотами (порами), и зависит от масштабного уровня структуры. Следовательно, можно предполагать, что разрушение бетона под действием сжимающих нагрузок возможно как по отрывному, так и по сдвиговому механизмам (см. рис. 1).

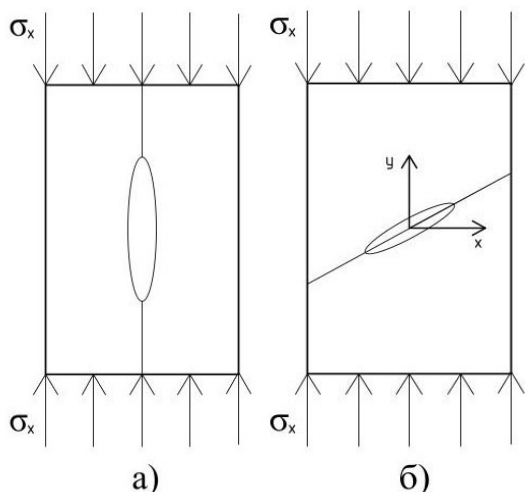


Рис.1. Разрушение бетона по механизму: а) отрывному; б) сдвиговому.

Гвоздев А. А. считает, что прочность бетона при сжатии в значительной мере зависит от вторичного поля напряжений и определяется сопротивлением растяжению (отрыву) по площадкам, параллельным направлению сжимающих сил [4].

Берг О. Я. последовательным микрофотографированием подтвердил гипотезу об отрывном механизме разрушения бетона при сжатии [3].

По мнению О. Я. Берга «Микроразрушение структуры бетона под нагрузкой представляет собой процесс раскрытия микротрещин, первоначально образовавшихся в структуре бетона во время твердения бетонной смеси».

Методом анализа диаграмм состояний по результатам ультразвуковых наблюдений установлено, что в начальной стадии нагружения происходит разуплотнение за счет наименее устойчивых структур. Границе R_t^0 на диаграмме состояний соответствует наименьшее время прохождения ультразвука через образец (см. рис. 1,2). Происходит уплотнение структуры бетона. Выше границы R_t^0 начинается процесс разуплотнения, интенсивного развития микроразрушений.

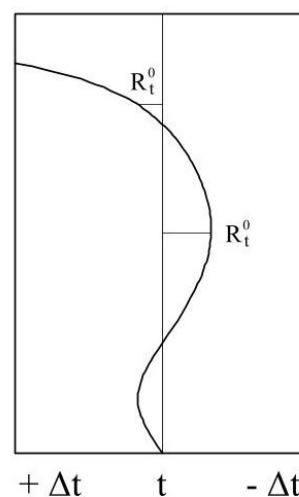


Рис. 2. Изменение диаграммы состояний бетона под действием сжимающих нагрузок по результатам ультразвуковых наблюдений [3].

Пересечение кривой R_t оси ординат соответствует началу стадии, когда микроразрушения начинают превалировать над процессом уплотнения.

Соколовым Б. С. предложена модель разрушения бетона при сжатии, в основу которой положена гипотеза об образовании под грузовыми и опорными площадками уплотнений в виде клиньев, под действием которых происходит разрушение материала сжатого элемента. При этом предполагается, что разрушение структуры бетона сопровождается реализацией сдвигового и отрывного механизмов [5].

Рейниус Е. предлагает рассматривать модель бетона в виде сложной статически неопределимой пространственной решетчатой конструкции, в которой под действием нагрузки постепенно разрушаются связи между узлами решетки [6].

Прочностные, деформативные свойства, процесс разрушения бетона в значительной степени определяются неоднородностью его строения, дефектами структуры – порами, микротрещинами, нарушенным сцеплением зерен заполнителя с цементным раствором.

Именно высокая степень неоднородности структуры бетона порождает многообразие проявлений механизмов разрушения бетонов.

В результате многочисленных исследований установлено, что разрушение бетона, это процесс, протекающий на разных масштабных уровнях и представляющий собой проявление одновременного протекания процессов, которые характеризуются различными значениями характерного линейного размера, энергии активации, порогового значения напряжения, временем релаксации.

Гриффигом А., Нейбером Х., Новожиловым В. В., предложено дискретность процесса разрушения моделировать путем введения в механику континуума геометрического показателя – линейный размер, характеризующий элементарную ячейку разрушения на данном масштабном l_i (l_i – длина трещины на i -ом масштабном уровне) уровне.

Следуя принципам подхода Новожилова к разрушению, будем предполагать: структура бетона состоит из пространственных структурных элементов, конечного размера; элементарный акт разрушения есть разрушение одного структурного элемента; в предельном случае полученные результаты должны соответствовать классическим.

Исходя из этих принципов рассмотрим при каких упругопрочностных характеристиках и нагрузках возможна реализация сдвигового или отрывного механизма разрушения бетонного образца при сжатии.

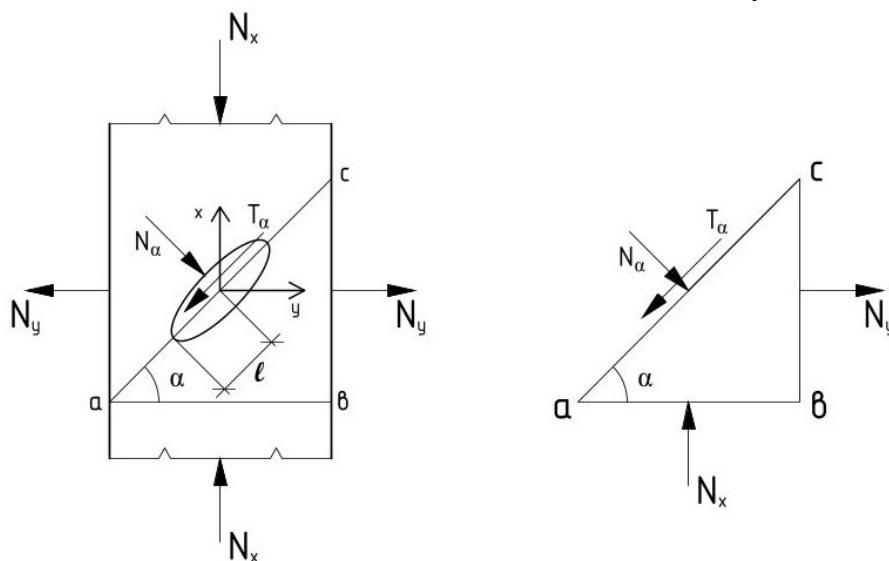


Рис. 3. Напряжения, действующие на фрактальный элемент в структуре бетона.

Под действием сил N_x возможна реализация сдвигового механизма разрушения. Силы N_y могут явиться инициаторами отрывного механизма разрушения.

Если рассмотреть предельный случай, когда плоскость разрушения бетона ориентирована вдоль силовых сжимающих сил ($\alpha = 90^\circ$), то вероятность реализации отрывного механизма разрушения будет очень велика.

Напряжения вторичного поля достигнут величины равной $\sigma_y = \mu \sigma_x$, где μ – коэффициент Пуассона.

Тогда условие реализации отрывного механизма разрушения под действием сжимающих нагрузок будет иметь вид:

$$\sigma_{x1} = \frac{K_1}{\sqrt{\pi l_i}} \frac{1}{\mu}, \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент интенсивности напряжений при отрывном механизме.

Если разрушение бетона под действием сжимающих нагрузок будет происходить по сдвиговому механизму, то в плоскости разрушения α -сбудут действовать силы N_α и T_α и соответствующие напряжения σ_α и τ_α , величина которых может быть определена по соответствующим формулам

В структурном элементе реального твердого тела под действием сжимающих нагрузок формируется магистральная трещина l_i , которая может иметь произвольную ориентацию. Предположим, что ось трещины находится в плоскости разрушения, которая образует угол α с горизонтальной плоскостью (см. рис. 3). На структурный элемент в виде призмы действуют сжимающие нагрузки N_x , под действием которых образуется вторичное поле напряжений. Действие вторичных напряжений можно представить в виде фиктивных нагрузок N_y

$$\sigma_\alpha = 0,5 (\sigma_x - \sigma_y) + 0,5 (\sigma_x + \sigma_y) \cos 2\alpha, \quad (2)$$

$$\tau_\alpha = 0,5 (\sigma_x + \sigma_y) \sin 2\alpha \quad (3)$$

Применяя условия прочности Кулона-Навье

$$\tau_\alpha \leq R_{bt} + \nu \sigma_\alpha \quad (4)$$

Находим для элемента с трещиной величину сжимающих напряжений σ_{x2} , при достижении которых возможен сдвиговой механизм разрушения

$$\sigma_{x2} \leq \frac{\frac{2K_2}{\sqrt{\pi l_i}}}{(1 + \mu) \sin 2\alpha - \nu (1 - \mu) - \nu (1 + \mu) \cos 2\alpha}, \quad (5)$$

где K_2 – коэффициент интенсивности напряжений при сдвиговом механизме разрушения; ν – коэффициент внутреннего трения.

При выводе формулы (5) принято, что σ_y – напряжение вторичного поля, величина которого определяется из условия $\sigma_y = \mu \sigma_{x0}$.

Из полученных формул следует: отрывной механизм разрушения возможен, если будет выполняться соотношение $\sigma_{x1}/\sigma_{x2} < 1$; разрушение структуры бетона начинается с микроэлементов, так как чем меньше размер дефекта-трещины, тем выше напряжение σ_{xi} .

Структура бетона неоднородна, много масштабна и самоподобна. Для описания подобных систем Б. Мандельброт разработал методы



фрактальной геометрии, согласно которым все структурные элементы, входящие в систему, подчиняются закону Мандельброта-Ричардсона, который описывает степенной функцией зависимость между геометрической характеристикой и масштабом измерения

$$L = L_0(\alpha)^{d_e - d_m}, \quad (6)$$

где L – изменяемая характеристика, α – масштаб измерений, d_e и d_m – размерность объекта в Евклидовом (d_e) и фрактальном (d_m) пространстве, L_0 – константа.

Тогда с учетом многомасштабности и самоподобия структурных элементов можно определить предельные значения напряжений для соответствующих масштабных уровней по формулам

$$\sigma_{x1} = \frac{K_1}{\mu} [\pi l_0(\alpha)^{d_e - d_m}]^{-0,5}, \quad (7)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{2K_2}{(1 - \nu) + \mu(1 + \nu)} [\pi l_0(\alpha)^{d_e - d_m}]^{-0,5}, \quad (8)$$

Из полученных формул следует: механизм разрушения зависит от величины коэффициента Пуассона - μ ; вероятность разрушения по отрывному механизму возрастает по мере увеличения влияния сил трения.

Библиографический список

1. Тимошенко, С.П. Механика материалов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере; Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э.И. Григолюка. – Изд. Мир, 1976. – 669 с.
2. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона/ О. Я. Берг. – Москва: Стройиздат, 1961. – 96 с.
3. Берг, О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко. –Москва: Стройиздат, 1971. – 208 с.
4. Гвоздев, А. А. Новое о прочности железобетона / А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, С.М. Крылов и др.; Под ред. К.В. Михайлова. – Москва: Стройиздат, 1977. – 272 с.
5. Соколов, Б. С. Теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию и ее практическое применение: Монография / Издательство АВС. – М.: 2011. – 160 с.
6. Reinius, E. A Theory of the Deformation and the Failure of Concrete / E. Reinius // Betong, Vol. 40, No. 1 (1955), pp. 15-43.
7. Новожилов, В. В. О необходимом и достаточном критерии хрупкой прочности / В.В.Новожилов // Прикладная математика и механика. –1969.– Т. 33.– Вып. 2. – С. 212–222.
8. Селяев, В. П. Механика разрушения бетона. Часть 1. Основные принципы построения теории разрушения бетона / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Д. Р. Бабушкина // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 2(25). – С. 60-64. – DOI 10.51608/26867818_2024_2_60. – EDN IWMCOO.

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

Статья поступила в редакцию 04.07.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 04.07.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.

Обзорная статья

УДК 69.009.1

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

DOI 10.51608/26867818_2024_3_123

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© Авторы 2024
SPIN: 9879-5950
AuthorID: 1163191

БУТОВКА Алексей Николаевич
первый заместитель генерального директора
АО ВНИИСТ
(Россия, Москва; e-mail: butovka@vniist.ru)

SPIN: 9213-4861
AuthorID: 800708
ORCID: 0000-0001-8517-5958
ScopusID: 57362508700
ResearcherID: AAQ-9234-2021

КРЕТОВ Дмитрий Александрович
заместитель директора ЦТиНОС, кандидат технических наук
АО ВНИИСТ
(Россия, Москва; e-mail: d.kretov@vniist.ru)

Аннотация. В статье рассматривается проблема совершенствования системы технического регулирования в строительной отрасли Российской Федерации. Авторы статьи отмечают, что действующая система имеет ряд недостатков, которые препятствуют внедрению инновационных решений и материалов. Это сдерживает развитие отрасли и снижает ее конкурентоспособность.

Для решения вышеуказанной проблемы внесены существенные изменения в законодательство технического регулирования, однако данные изменения имеют свои последствия и проблемы, которые на данный момент не урегулированы.

Ключевые слова: строительная отрасль; система технического регулирования; инновационные решения; реестр требований; технические комитеты по стандартизации; экспертиза

Для цитирования: Совершенствование системы технического регулирования в строительной отрасли Российской Федерации / А.Н. Бутовка, Д.А. Кретов // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 123-127. doi 10.51608/26867818_2024_3_123

Review article

IMPROVEMENT OF THE TECHNICAL REGULATION SYSTEM IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION

© The Author(s) 2024

BUTOVKA Alexey Nikolaevich
First Deputy General Director
JSC VNIIST
(Russia, Moscow; e-mail: butovka@vniist.ru)

KRETOV Dmitry Aleksandrovich
Deputy Director of the Center for TRSC, Candidate of Technical
Sciences
JSC VNIIST
(Russia, Moscow; e-mail: d.kretov@vniist.ru)



Abstract. The article examines the issue of improving the technical regulation system in the construction industry of the Russian Federation. The authors of the article note that the current system has a number of shortcomings that hinder the introduction of innovative solutions and materials. This hinders the development of the industry and reduces its competitiveness.

To solve the above problem, significant changes have been made to the technical regulation legislation, however, these changes have their own consequences and problems that are not currently resolved.

Keywords: construction industry; technical regulation system; innovative solutions; register of requirements; technical standardization committees; expertise

For citation: Butovka A.N., Kretov D.A. Improvement of the technical regulation system in the construction industry of the Russian Federation // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 123-127 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_123

Введение. В современном мире строительство играет важнейшую роль в развитии общества. Обеспечение безопасности, качества и надежности возводимых объектов является не просто обязанностью, но и жизненной необходимостью. В этом контексте система технического регулирования служит краеугольным камнем, устанавливая стандарты и требования, которые защищают благополучие общества и стимулируют устойчивый рост.

Существующая система технического регулирования в строительной отрасли сталкивается с несколькими критическими проблемами, которые снижают ее эффективность и ограничивают возможности реагирования на меняющиеся потребности сектора. Эти проблемы включают:

- избыточная регуляторная нагрузка – множественность нормативных актов и процедур замедляют процессы внедрения инноваций, а также затрудняют адаптацию к новым технологиям и рыночным тенденциям;

- разрозненный подход – недостаток координации и гармонизации между различными регулирующими органами приводит к противоречиям и дублированию, создавая путаницу и увеличивая расходы на соблюдение требований для участников отрасли;

- недостаток прозрачности и доступности – система технического регулирования может быть непрозрачной и недоступной, что затрудняет для участников отрасли навигацию и понимание сложных требований.

Если провести анализ путей развития систем технического регулирования в разных странах, то можно сделать вывод о том, что в каждой стране происходит формирование своих особенностей со своими достоинствами и недостатками [1]. Универсальной системы технического регулирования не существует [2]. Российская Федерация при формировании своей системы использовала наследие СССР, а также учитывала опыт экономически развитых стран с высокой культурой строительства [3]. За последнее время знаковыми событиями для системы технического регулирования стали утверждение «Стратегии развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года» [4] в 2022 году и утверждение Федерального закона от 25 декабря 2023 г. № 653-ФЗ «О внесении изменений в

Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5].

Цель данной статьи – повышение осведомленности о проблемах технического регулирования в строительной отрасли в настоящее время, а также стимулирование дискуссии и поиска новых решений.

Обсуждение темы. В Российской Федерации значимую роль в системе технического регулирования играет государство согласно Федеральному закону от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [6].

Однако, не во всех странах роль государства в системе технического регулирования является главенствующей. Несмотря на схожесть регуляторных моделей [7] в странах ЕС, США и Канаде, вклад государства более ограничен. В этих странах в вопросах разработки и применения стандартов на первое место выходят негосударственные организации, такие как профессиональные ассоциации, отраслевые союзы и научно-исследовательские институты, а государство оказывает поддержку [8-9].

Представители бизнеса, как в Российской Федерации, так и в других странах, также принимают участие в процессах через ассоциации или через финансирование научно-исследовательских институтов [10].

В экономически развитых странах существует система разделения обязанностей между государством и разработчиками стандартов. Государство отвечает за формулирование правового компонента норм, а разработчики стандартов за формулирование технического компонента норм (количественные и качественные критерии оценки объектов нормирования) [11].

В Российской Федерации существует система технических комитетов по стандартизации (ТК), которая является примером реализации принципа разделения обязанностей между государством и разработчиками стандартов [12].

ТК – это негосударственные организации, в состав которых входят представители различных заинтересованных сторон, таких как производители продукции, потребители продукции, научно-исследовательские институты, органы по сертификации и органы по аккредитации.



ТК играют ключевую роль в процессе разработки национальных стандартов, объединяя экспертов для создания консенсусных документов. Принятые стандарты могут быть рекомендованы к применению или стать обязательными для определенных видов деятельности или продукции. Деятельность ТК координируется Росстандартом, который является федеральным органом исполнительной власти в области стандартизации, метрологии и оценки соответствия.

Система ТК в России имеет ряд преимуществ: обеспечивает участие всех заинтересованных сторон в разработке стандартов; позволяет разрабатывать стандарты, которые учитывают специфику различных отраслей экономики; способствует повышению качества продукции и услуг.

Однако система ТК также имеет некоторые недостатки: может быть подвержена лоббированию со стороны отдельных заинтересованных сторон; процесс разработки стандартов может быть длительным и сложным; не все ТК имеют достаточный уровень компетенции.

В целом, система ТК является эффективным инструментом реализации принципа разделения обязанностей между государством и разработчиками стандартов – она позволяет повысить качество продукции и услуг, а также снизить административные барьеры.

Важно отметить, что система технического регулирования в Российской Федерации постоянно развивается. Одним из важнейших направлений развития системы технического регулирования является переход на параметрическую систему нормирования.

В отличие от традиционной системы, основанной на предписании конкретных характеристик продукции, параметрическая система определяет только функциональные требования к продукции, оставляя производителям больше свободы в выборе технических решений [13-14]. Это позволяет сократить время разработки и внедрения новых продуктов, стимулировать инновации, снизить издержки производства и повысить конкурентоспособность продукции.

Переход на параметрическую систему нормирования в Российской Федерации уже начался. В 2022 году была утверждена «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года» [4], в которой предусмотрено широкое внедрение параметрической системы нормирования в строительстве.

Следует отметить, что ранее было проведено сокращение перечня национальных стандартов и сводов правил, в результате которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (Постановление Правительства РФ от 28.05.2021 № 815). Уменьшение количества обязательных нормативов по факту являлось практической реализацией перехода к параметрической системе. Влияние

данного обстоятельства на отрасль рассмотрено в работе [15].

Ожидается, что переход на параметрическую систему нормирования будет способствовать улучшению качества продукции, повышению конкурентоспособности российской экономики и созданию более благоприятного инвестиционного климата.

Как один из шагов на этом пути, в соответствии с Федеральным законом от 25 декабря 2023 г. № 653-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5], с 1 сентября 2024 года вступает в силу ряд значимых изменений.

Первое, на что хотелось бы обратить внимание – появление в тексте «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [6] и «Градостроительного кодекса Российской Федерации» [16] реестра требований, подлежащих применению при проведении экспертизы проектной документации и (или) экспертизы результатов инженерных изысканий, осуществлении архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и сноса объектов капитального строительства (далее – реестр требований).

Реестр требований – это информационная система, в которую подлежат включению следующие требования: требования технических регламентов, санитарно-эпидемиологические требования, требования в области охраны окружающей среды, требования государственной охраны объектов культурного наследия, требования к безопасному использованию атомной энергии, требования промышленной безопасности, требования к обеспечению надежности и безопасности электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики, требования антитеррористической защищенности объекта [16].

Однако, наблюдается противоречие: в тексте [16], где реестр требований должен включать в себя только лишь требования (отсутствуют упоминания о включении нормативно-технических документов целиком), имеется упоминание о логичной задаче на пути внедрения реестра требований – устранение противоречий между требованиями, включенными в реестр требований; в тексте [6] речь идет о национальных стандартах и сводах правил целиком, а не про отдельные требования. В случае применения документов целиком возникает вопрос – как же будет достигаться устранение коллизий в требованиях документов?

Также необходимо отметить вопрос отступления от требований реестра в проектной документации. В соответствии с новыми правилами, в случае отступления от требований реестра в проектной документации, необходимо предоставить обоснование такого отступления. Обоснование должно содержать информацию о причинах



отступления, а также о мерах, которые будут предприняты для обеспечения безопасности и качества продукции.

Однако возникает вопрос: как быть в случае, если в реестре не содержится данное требование? Должен ли проектировщик самостоятельно провести анализ рисков и принять решение о том, какие требования необходимо включить в проектную документацию?

Такая ситуация может привести к следующим проблемам:

- неопределенность – отсутствие четких требований в реестре может привести к тому, что проектировщики будут по-разному интерпретировать те или иные положения, что может привести к ошибкам и неточностям в проектной документации;

- необоснованные решения – проектировщики могут принимать необоснованные решения, основанные на своем личном опыте или предпочтениях, что может привести к снижению безопасности и качества продукции.

Таким образом, в настоящее время, в отсутствии официальных комментариев и соответствующих правовых актов, нет точного понимания, что из себя будет представлять реестр требований.

На заседании технического комитета по стандартизации ТК 465 «Строительство» 2 апреля 2024 г. было отмечено, что вопросами разработки реестра требований, формирования его структуры и содержания занимается Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (далее – ФАУ «ФЦС»).

Авторы статьи считают, что процесс разработки реестра требований столкнулся с рядом проблем:

1. Недостаток прозрачности и открытости информации.

Информация о процессе разработки реестра не является достаточно прозрачной и открытой, что вызывает недоверие со стороны заинтересованных сторон.

2. Неопределенность состава информации, включаемой в реестр.

Как было отмечено выше, не до конца ясно, какие именно сведения должны быть включены в реестр. Это может привести к тому, что реестр станет неполным или неудобным для использования.

3. Недостаточное привлечение экспертов к разработке реестра.

В разработке реестра недостаточно задействованы эксперты из различных областей, что может привести к появлению ошибок и неточностей.

4. Недооценка важности участия бизнеса.

Бизнес недостаточно вовлечен в процесс разработки реестра, что может привести к тому, что его интересы не будут учтены.

5. Нет информации о механизмах обновления реестра.

Отсутствует информация о механизмах обновления реестра, что может привести к тому, что он станет устаревшим и неактуальным.

6. Нет информации о механизмах контроля за соблюдением требований реестра.

Отсутствует информация о механизмах контроля за соблюдением требований реестра, что может привести к их неисполнению.

В связи с вышесказанным, считаем, что ФАУ «ФЦС» должно осуществить следующие шаги:

- привлечь экспертов технических комитетов по стандартизации к разработке реестра требований в рамках компетенций;

- раскрыть информацию для экспертов технических комитетов по стандартизации о текущем статусе разработки, целях и задачах, содержании реестра требований.

Выводы. Подводя итог, хотелось бы отметить, что система технического регулирования играет решающую роль в обеспечении безопасности, качества и надежности строительных проектов в России. Переход к параметрической системе стандартизации и введение реестра требований являются важными шагами на пути к повышению эффективности этой системы. Однако для успешной реализации этих инициатив необходимо решить проблемы, связанные с этими изменениями, и обеспечить баланс между государственным участием и участием отрасли.

Библиографический список

1. Сильченко, Н. В. Проблемы систематизации технических правовых актов, гармонизации технического регулирования общественных отношений и обеспечения инновационного пути развития общества / Н. В. Сильченко // Россия: тенденции и перспективы развития : Ежегодник. Материалы XXI Национальной научной конференции с международным участием, Москва, 16–17 декабря 2021 года / Отв. редактор В. И. Герасимов. Том Выпуск 17. Часть 1. – Москва: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2022. – С. 716-719. – EDN MNXDPN.
2. Техническое регулирование в строительстве. Аналитический обзор мирового опыта : Snip Innovative Technologies ; рук. Серых А. – Чикаго: SNIP, 2010. – 889 с. : ил.
3. Сидорова, Ю. И. Тенденции развития законодательства в сфере технического регулирования / Ю. И. Сидорова // Вестник Поволжского института управления. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 96-104. – DOI 10.22394/1682-2358-2022-4-96-104. – EDN RAYNHM.
4. «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf>
5. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий



- и сооружений» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. Закон Рос. Федерации от 25 декабря 2023 г. № 653-ФЗ : принят Гос. Думой 15 декабря 2023 г. : одобр. Советом Федер. 22 декабря 2023 г. // Кремль. – 2023. – 25 декабря.
6. О техническом регулировании : федер. Закон Рос. Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ : принят Гос. Думой 15 декабря 2002 г. : одобр. Советом Федер. 18 декабря 2002 г. // Кремль. – 2002. – 27 декабря (в ред. 02 июля 2021 г.).
7. Кондратьева, Н. Б. Сравнительный анализ технического регулирования ЕС и ЕАЭС Comparative Analysis of Technical Regulation of EU and EAEU / Н. Б. Кондратьева // Современная Европа. – 2018. – № 4(83). – С. 155-163. – DOI 10.15211/soveurope42018155163. – EDN VMWBVO.
8. The White House. (2023). United States Government National Standards Strategy for Critical and Emerging Technology.
9. CSA Group. (2023). CSA Group Annual Report 2022-2023.
10. Кретов, Д. А. Анализ зависимости научно-исследовательских центров от финансирования со стороны нефтегазовых компаний / Д. А. Кретов, М. Н. Бутовка // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2023. – № 5(87). – С. 24-28.
11. Совет Европейского Союза. (1985). Резолюция Совета 85/C 136/01 от 7 мая 1985 г. о новом подходе к технической гармонизации и стандартизации.
12. ГОСТ Р 1.1-2020 Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации и проектные технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности.
13. Колубков, А. Н. Параметрический метод нормирования. Постоянное стремление к изменениям / А. Н. Колубков // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2023. – № 8. – С. 12-21. – EDN SKALDV.
14. Пустовгар, А. П. Применение параметрического метода нормирования в строительной отрасли / А. П. Пустовгар, Н. П. Андреева // Стандарты и качество. – 2024. – № 1. – С. 95-99. – DOI 10.35400/0038-9692-2024-1-208-23. – EDN KGMXUU.
15. Об изменении перечня национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» / О. О. Морозов, А. Н. Бутовка, А. А. Насирова, В. Д. Диулин // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2021. – № 3(79). – С. 56-58. – EDN NPYGWQ.
16. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ : принят Гос. Думой 22 декабря 2004 г. : одобр. Советом Федерации 24 декабря 2004 г. // Кремль – 2004. – 29 декабря (в ред. 25 декабря 2023 г.).

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

Статья поступила в редакцию 02.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 13.09.2024.

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

The article was submitted 02.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 13.09.2024.



Научная статья

УДК 69 : 69.007

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела; 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.9. Строительная механика

DOI 10.51608/26867818_2024_3_128

РАЗВИТИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ

© Авторы, 2024

SPIN: 4425-5045

ORCID 0000-0001-8407-8144

ScopusID: 56662851300

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович

академик РААСН, доктор технических наук,
профессор

*Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет;*

*Российская академия архитектуры и
строительных наук*

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

SPIN: 5417-1586

ORCID 0000-0002-5156-7352

ScopusID: 56352359500

ResearcherID: G-1611-2018

КОРНИЕНКО Сергей Валерьевич

доктор технических наук, доцент

*Волгоградский государственный технический
университет*

(Россия, Волгоград)

SPIN: 3461-4150

ПАНФИЛОВ Степан Александрович

доктор технических наук, профессор,

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

(Россия, Саранск)

SPIN: 7470-6265

КАБАНОВ Олег Владимирович

кандидат технических наук, доцент

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

(Россия, Саранск)

SPIN: 3547-3818

СЕРГУШИНА Елена Сергеевна

преподаватель

*Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: sergushinaes@yandex.ru)*

Аннотация. Данная статья посвящена анализу системы управления качеством подготовки специалистов технической направленности. Рассматривается важность развития эффективной системы, направленной на обеспечение высокого уровня подготовки специалистов в технических областях. В ходе исследования освещаются ключевые аспекты управления качеством образования, такие как планирование учебного процесса, контроль за качеством обучения, оценка результатов и постоянное улучшение учебных программ. Авторы ставят перед собой цель определить основные принципы, методики и инструменты, способствующие эффективной системе управления качеством образования технических специалистов. Статья по итогам исследования предлагает рекомендации по совершенствованию системы обучения, выявляя пути оптимизации и повышения качества подготовки специалистов в технической сфере.

Ключевые слова: система управления; качество; подготовка специалистов; техническая направленность; оценка; подготовка специалистов в технической сфере



Для цитирования: Развитие эффективной системы управления качеством, направленной на обеспечение высокого уровня подготовки специалистов в технических областях / В.Т. Ерофеев, С.В. Корниенко, С.А. Панфилов, О.В. Кабанов, Е.С. Сергушина // Эксперт: теория и практика. 2024. № 3 (26). С. 128-136. doi 10.51608/26867818_2024_3_128

Original article

DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM AIMED AT PROVIDING HIGH-LEVEL TRAINING OF SPECIALISTS IN TECHNICAL SPHERES

© The Author(s) 2024

EROFEEV Vladimir Trofimovich

Academician of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor
*National Research Moscow State University of Civil Engineering;
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(Russia, Moscow, e-mail: erofeevvt@bk.ru)*

KORNIENKO Sergey Valerievich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
*Volgograd State Technical University
(Volgograd, Russia)*

PANFILOV Stepan Alexandrovich

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

KABANOV Oleg Vladimirovich

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

SERGUSHINA Elena Sergeevna

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

Abstract. This article is devoted to the analysis of the quality management system for training of specialists in technical spheres. The article considers the importance of developing an effective system aimed at providing a high level of training of specialists in technical spheres. The study highlights key aspects of education quality management, such as planning of educational process, quality control of learning, assessment and continuous improvement of curricula. The authors set out to define basic principles, methods, and tools that will contribute to an effective quality management system for education of technical specialists. The article on the results of the study offers recommendations for improving the training system, identifying ways to optimize and improve the quality of training of specialists in the technical field.

Keywords: management system; quality; training of specialists; technical orientation; evaluation; training of specialists in technical spheres

For citation: Development of an effective quality management system aimed at providing high-level training of specialists in technical spheres / V.T. Erofeev, S.V. Kornienko, S.A. Panfilov, O.V. Kabanov, E.S. Sergushina // Expert: theory and practice. 2024. № 3 (26). Pp. 128-136 (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2024_3_128



Система управления качеством подготовки специалистов функционирует в рамках базисной системы, технология построения и определения степени ответственности которой в иерархическом отношении имеет 6 уровней: федеральный; университетский; факультетский или институтский; кафедральный; преподавательский; студенческий.

Качество подготовки специалистов определяется прежде всего востребованностью их на рынке труда и величиной вознаграждения за профессиональные способности, которые не всегда коррелируют друг с другом. Организационно оно должно поддерживаться системой образования на всех уровнях: довузовском, вузовском и послевузовском. В вузе важнейшими задачами системы управления качеством подготовки специалистов являются кадровое, материально-техническое и информационное обеспечение [1-3].

Немаловажную роль в системе кадрового обеспечения играет нормирование труда преподавателей, позволяющее в итоге создать условия для улучшения содержательной части образования, усиления индивидуальной работы со студентами, в том числе во время проведения учебных и производственных практик.

Надлежащее информационное обеспечение и материально-техническая база, включая базы практик, дают возможность выпускнику быстрее адаптироваться на реальных рабочих местах.

Любая идеальная система управления будет функционировать плохо, если она неадекватно реагирует на возникающие реальные «помехи».

Качество подготовки специалистов зависит от качества знаний абитуриента, технологии подготовки, своевременности и достаточности контроля знаний в ВУЗе. Окончательно оно оценивается спросом (востребованностью) на рынке труда.

Основные задачи повышения качества на университетском уровне решаются при:

1) наборе студентов (влияние на качество знаний абитуриентов осуществляется через работу с профессиональными училищами и колледжами, а также через работу в системе довузовских подготовительных курсов, функционирующих в университете);

2) кадровом обеспечении путём усиления индивидуальной работы со студентами, четкой организации практической, профессиональной подготовки через совершенствование системы практик;

3) совершенствовании материально-технической и информационной базы;

4) организации обратной связи с выпускниками через мониторинг востребованности специалистов и коррекцию содержания образования при наличии выявленных недостатков.

В 1-м и 4-м звеньях больше проблем, чем способов их решения.

На всех уровнях контроля и коррекции технологии подготовки специалистов есть свои плюсы и минусы, понимание которых необходимо для управления работой всей системы.

Система управления качеством подготовки специалистов на факультетском или институтском и более низких уровнях опирается на базисную систему [2-5].

Основная цель системы управления качеством подготовки:

- достижение соответствующего уровня качества подготовки в университете осуществляется за счет совершенствования управления образовательной деятельностью и организации учебного процесса.

Специфические цели и задачи системы управления качеством подготовки:

- повышение конкурентоспособности профессиональной подготовки специалистов в системе классического университета по отношению к другим специалистам из других ВУЗов на федеральном и региональном рынке образовательных услуг.

Принципы управления образовательной деятельностью:

- система управления представляет собой иерархию уровней, на каждом из которых решаются свои конкретные задачи и каждый из которых обладает своей ответственностью за конкретные результаты образовательной деятельности. Каждому уровню ответственности должен отвечать соответствующий уровень принятия решений [6].

Функции системы управления качеством подготовки:

Функциями системы управления качеством подготовки являются: нормирование образовательной деятельности; планирование качества подготовки; мониторинг качества подготовки; определение уровня качества подготовки; регулирование качества подготовки; сертификация качества подготовки в системе стандартов ИСО.

Содержанием функции «Нормирование образовательной деятельности» являются: утверждение государственных образовательных стандартов специальностей; лицензирование, аккредитация и аттестация образовательной деятельности по специальностям; нормирование нагрузки преподавателей.

Содержанием функции «Планирование качества подготовки» являются: утверждение перечня знаний, умений и навыков государственных образовательных стандартов специальностей (выходное качество); маркетинг содержательных требований потребителей на рынке образовательных услуг; разработка учебных планов и графиков учебного процесса, отвечающих требованию эффективной реализации ГОС; разработка содержания учебных дисциплин (рабочие программы); ресурсное обеспечение, включая: 1) профессорско-преподавательские кадры; 2) учебно-методические материалы; 3) материально-техническую и информационную базу; 4) базы практик.

Содержанием функции «Мониторинг качества подготовки» являются: установление системы контрольных точек для определения качества



подготовки (количество и форма реализации); формирование программ экзаменов, содержательной и графической частей графических и расчетно-графических работ, курсовых работ и проектов, индивидуальных заданий и тестов для контрольных точек определения качества подготовки [7].

Содержанием функции «Определение уровня качества подготовки» являются: определение уровня качества подготовки на основе соотнесения данных мониторинга с перечнем знаний, умений и навыков, предусмотренных государственным образовательным стандартом специальности; формирование индивидуальных рекомендаций по регулированию качества подготовки [8].

Содержанием функции «Регулирование качества подготовки» являются: реализация индивидуальных рекомендаций по регулированию качества подготовки; принятие решений о возможности продолжения подготовки.

Содержанием функции «Сертификация качества подготовки в системе стандартов ИСО» является согласование уровня качества подготовки со стандартами ИСО [9-11].

Организационная структура системы управления качеством подготовки.

Уровнями управления качеством подготовки являются: федеральный; университетский; факультетский или институтский; кафедральный; преподавательский; студенческий.

Функциональными задачами на уровнях системы управления качеством подготовки являются:

- на федеральном уровне:

1. Разработка государственных образовательных стандартов специальностей (федеральная компонента);
2. Разработка нормативной базы для реализации государственных образовательных стандартов;
3. Разработка средств контроля реализации государственных образовательных стандартов специальностей.

Результатами решения указанных задач являются:

1. Утверждение Государственных образовательных стандартов специальностей (федеральная компонента);
2. Выдача лицензий на ведение образовательной деятельности по специальностям;
3. Аккредитация и аттестация высших учебных заведений.

- на университетском или институтском уровне:

1. Подготовка материалов для лицензирования, аккредитации и аттестации специальностей;
2. Подготовка статистической отчетности по формам Министерства образования и науки РФ;
3. Маркетинговые исследования регионального рынка образовательных услуг, рекомендации к качеству подготовки по специальностям (региональная компонента);

4. Нормирование образовательной деятельности;
5. Проверка уровня качества подготовки;
6. Управление качеством подготовки;
7. Подготовка материалов для сертификации в системе стандартов ИСО;
8. Инновационная образовательная деятельность;
9. Ресурсное обеспечение (профессорско-преподавательские кадры, учебно-методические материалы, материально-техническая и информационная база, базы практик);
10. Информационно-аналитическая поддержка системы управления образовательной деятельностью.

Результатами решения указанных задач являются:

1. Открытие и функционирование специальностей;
2. Рекомендации к содержанию федеральной и региональной компонент Государственных образовательных стандартов специальностей;
3. Поддержание качества подготовки в соответствии с государственными образовательными стандартами и стандартами ИСО;
4. Принятие решений о возможности продолжения подготовки;
5. Диверсифицированная образовательная деятельность;
6. Нормативное обеспечение учебного процесса;

- на факультетском или институтском уровне:

1. Подготовка материалов для лицензирования, аккредитации и аттестации специальностей;
2. Маркетинговые исследования регионального рынка образовательных услуг, рекомендации к качеству подготовки по специальностям (региональная компонента);
3. Составление учебных планов и графиков учебного процесса на основе оптимизации бюджета учебного времени в соответствии с ГОС и рекомендациями УМУ;
4. Управление качеством подготовки;
5. Проверка уровня качества подготовки;
6. Подготовка материалов для сертификации в системе стандартов ИСО;
7. Инновационная образовательная деятельность.

Результатами решения указанных задач являются:

1. Открытие и функционирование специальностей;
2. Определение содержания региональной компоненты государственных образовательных стандартов специальностей;
3. Поддержание качества подготовки в соответствии с государственными



Экспертное мнение

- образовательными стандартами и стандартами ИСО;
4. Диверсифицированная образовательная деятельность;
 5. Принятие решений о возможности продолжения подготовки;
 6. Рекомендации по открытию и закрытию кафедр;
 7. Допуск студентов к государственной аттестации.

- на кафедральном уровне:

1. Разработка перечня знаний, умений и навыков в соответствии с государственными образовательными стандартами специальностей по учебным дисциплинам (выходное качество);
2. Разработка содержания учебных дисциплин (рабочие программы), программ экзаменов, содержательной и графической частей графических и расчетно-графических работ, курсовых работ и проектов;
3. Установление системы контрольных точек для определения качества подготовки (количество и форма реализации);
4. Формирование программ экзаменов, индивидуальных заданий и тестов для контрольных точек определения качества подготовки;
5. Кадровое обеспечение;
6. Контроль за качеством работы преподавателей;
7. Формирование индивидуальных рекомендаций конкретным преподавателям по регулированию качества подготовки;
8. Реализация индивидуальных рекомендаций конкретным преподавателям по регулированию качества подготовки;
9. Подготовка учебно-методических материалов.

Результатами решения указанных задач являются:

1. Перечень знаний, умений и навыков в соответствии с государственными образовательными стандартами специальностей, отнесенных к учебным дисциплинам (выходное качество);
2. Планы специализаций;
3. Рабочие программы учебных дисциплин;
4. Рабочие программы практик;
5. Состав графических и расчетно-графических работ, курсовых работ и проектов;
6. Допуск студентов к защите выпускной работы;

- на преподавательском уровне:

1. Определение уровня качества подготовки студента на основе соответствия данных мониторинга по дисциплине перечню знаний, умений и навыков ГОС по специальности;

2. Формирование индивидуальных рекомендаций по регулированию качества подготовки студента по дисциплине;
3. Реализация индивидуальных рекомендаций по регулированию качества подготовки студента по дисциплине;
4. Подготовка учебно-методических материалов, заданий на графические и расчетно-графические работы, на курсовые работы и проекты.

Результатами решения указанных задач являются:

1. Мониторинг качества подготовки студента по дисциплине на основе индивидуальных педагогических измерений в контрольных точках;
2. Контроль за качеством подготовки студента по дисциплине;
3. Регулирование качества подготовки студента по дисциплине;
4. Оценка уровня качества подготовки студента (зачет, экзамен) по дисциплине;

- на студенческом уровне:

1. Рекомендации по содержанию дисциплин и качества работы преподавателей;
2. Анкетирование преподавателей.

Механизм управления качеством подготовки

Механизмами управления системой качества подготовки являются:

- на федеральном уровне:

1. Директивные указания на основании Устава Министерства образования и науки РФ;
2. Рекомендации УМУ;

- на университетском уровне:

1. Рекомендации комиссии по образовательной деятельности ученого совета университета;
2. Решения ученого совета университета;
3. Приказы ректора;

- на факультетском или институтском уровне:

1. Рекомендации учебно-методической комиссии факультета или института;
2. Рекомендации экспертных советов по учебно-научным направлениям;
3. Решения ученого совета факультета или института;
4. Распоряжения декана факультета или директора института;

- на кафедральном уровне:

1. Рекомендации учебно-методической комиссии кафедры;
2. Решения кафедры;

- на преподавательском уровне:



1. Оценка качества подготовки студента по дисциплине (зачет, экзамен);

- на студенческом уровне:

1. Решения студенческого совета.

Реализация базисной системы на факультетском или институтском уровне.

Основные направления повышения качества образования.

Направленность технологии подготовки специалистов на максимальную адаптацию на рынке труда, что предполагает:

- адекватное современным требованиям кадровое обеспечение;
- совершенствование материально-технической и информационной базы (единая компьютерная сеть с выходом в Интернет, приобретение лицензионного программного обеспечения, учебников на электронных носителях, поддержка издания учебных пособий и учебников с грифом);
- усиление индивидуальной работы со студентами;
- поддержка студенческой науки; увеличение и расширение тематики дипломных проектов, имеющих элементы научного исследования или полностью носящие научно-исследовательский характер;
- работа со студентами – участниками олимпиад по общепрофессиональным и специальным техническим дисциплинам;
- совершенствование содержательной части практик; подбор баз практик, удовлетворяющих современным требованиям проектирования, технологии и организации строительства;
- увеличение числа и улучшение качества дипломных проектов, выполняемых по заказам предприятий, фирм, учебных заведений, учреждений и т.д.;
- модернизация специализаций, номенклатурно и содержательно направленных на перспективный спрос на рынке труда и отражающих современное состояние науки и практики архитектуры и строительства;
- своевременное открытие (закрытие) кафедр с учетом современного их состояния с целью улучшения качества подготовки конкурентоспособных специалистов [9].

Для максимально возможного повышения вероятности трудоустройства выпускников необходимо совершенствовать мониторинг востребованности инженеров путем введения новых специальностей и новых специализаций с учетом востребованности специалистов данной категории на рынке труда.

Целевые задачи:

- укрепление деловых связей с Министерством жилищно-коммунального хозяйства и теми

предприятиями, фирмами, учреждениями, которые достаточно стабильно принимают выпускников факультета или института на работу;

- организация филиалов кафедр на передовых профильных предприятиях;
- увеличение числа договоров на индивидуальную подготовку специалистов для конкретных потребителей на основе частичной или полной оплаты образовательных услуг;
- совершенствование обратной связи с выпускниками в целях помощи в трудоустройстве и определения недостатков в содержании и формах обучения для последующей коррекции учебных планов, программ и методов обучения.

Иерархическая система управления на факультете или институте.

Иерархия уровней управления, представленная в разделе 1, не является однозначной. В соответствии с Уставом вуза кафедра имеет двойное подчинение, так как ее заведующий избирается на ученом совете университета/факультета/института. Это связано с тем, что часть кафедр факультета или института ведут занятия на других факультетах (в институтах) и, следовательно, решают проблемы через их соответствующие структуры [12].

Официальные структуры управления качеством подготовки специалистов на факультете или институте: ученый совет, учебно-методическая комиссия (УМК), деканат, дирекция, кафедры, студсовет.

Высшей властью обладает ученый совет факультета или института.

Антииерархическая система обратных связей.

Под этим имеется в виду совокупность структур, позволяющих корректировать систему образования «снизу вверх».

Студенческий уровень.

Этот уровень выделен потому, что студент имеет право получить необходимые ему образовательные услуги, к тому же или полностью, или частично им оплаченные. Конкретный студент, как правило, имеет локальный контакт с конкретным преподавателем и по поводу возникающих противоречий в учебной деятельности может обратиться на кафедру, в деканат или дирекцию, в студсовет.

Усредненное мнение о работе преподавателей может быть выражено через анкетирование преподавателей студентами; обращение по цепочке: студент – деканат или дирекция; ученый совет факультета или института.

Проблемный вопрос по системе образования на факультете или институте (в случае нерешаемости его на факультетском или институтском уровне) может быть вынесен через студсовет факультета в



студсовет университета, ученый совет университета, федеральные органы образования [13].

Преподавательский уровень.

Наиболее часто встречающийся вариант обращения на более высокий уровень в связи с качеством подготовки – недостаточное количество времени, отведенное на изучение дисциплины в целом, неудовлетворительное соотношение между формами занятий (лекция, практические, лабораторные и индивидуальные), или на несвоевременное выделение семестров на изучение дисциплины и (или) формы отчетности (учебный план). Схема обращения: кафедра – факультет или институт (деканат или дирекция, УМК, ученый совет факультета или института) – университет (НМС университета, ученый совет университета) или с факультетского/институтского уровня на федеральный через УМУ [14].

Кафедра́льный уровень.

При тех же проблемах схема обращения описана там же. Дополнительные проблемы, связанные с изменением статуса кафедры (перераспределение дисциплин между кафедрами, объединение или разъединение дисциплин, что предусмотрено ГОС), решаются или на факультетском/институтском уровне, или через НМС университета – на университетском.

Факультетский/институтский уровень.

Факультет/институт имеет возможность обратиться на университетский (НМС, ученый совет университета) и на федеральный (Минобрнауки, УМУ) уровни в случае изменения состава кафедр, специальностей, утверждения номенклатуры или введения новых специальностей, не входящих в примерный перечень специализаций по специальности. Непосредственный выход на федеральный уровень по поводу изменения ГОС предусмотрен через обращение в УМУ университетов по соответствующей специальности [15].

Система контроля качества.

Система контроля качества работы кафедр.

За работу кафедры отвечает ее заведующий. Основной формой управления качеством работы кафедры является избрание заведующего кафедрой на ученом совете университета, подотчетность ученому совету факультета, в который входит, в том числе, и председатель студсовета факультета.

Система контроля качества работы преподавателя.

Контроль прежде всего осуществляется заведующим кафедрой. Аналогичное право имеет УМК факультета. В конечном счете удовлетворительность (неудовлетворительность) его работы подтверждается при избрании (неизбрании) на новый срок работы на ученом совете факультета/института. Кроме этого, Ректор имеет право заключить с преподавателем контракт на срок, не превышающий 5 лет [16].

Система контроля качества подготовки студента.

Эта система наиболее полно разработана на всех уровнях. Формы и период контроля:

– на федеральном уровне: один раз в 5 лет через государственную аттестацию (защита дипломного проекта);

– на университетском уровне: эпизодически – ректорские контрольные работы (семестровые, годовые, пятилетние);

– на факультетском/институтском уровне – два-три раза в семестр: межсессионный учет знаний, деканские контрольные работы (многодисциплинарные), сессия. По результатам сессии решается вопрос о возможности или невозможности продолжения обучения каждого студента [17].

В результате исследования системы управления качеством подготовки специалистов технической направленности можно сделать вывод о важности и актуальности обеспечения высокого уровня образования в технических областях. Стремление к постоянному совершенствованию системы обучения и контроля за качеством является ключевым фактором повышения профессионализма будущих специалистов. Оптимизация учебных программ, внедрение инновационных методов обучения, оценка результатов обучения, а также адаптация учебного процесса к современным требованиям общества и индустрии играют значительную роль в формировании качественной подготовки специалистов. Обобщая данные исследования, можно отметить, что система управления качеством подготовки специалистов технической направленности имеет потенциал для дальнейшего совершенствования и развития. Внедрение современных подходов к образованию, учет интересов студентов и потребностей рынка труда позволит формировать квалифицированных и конкурентоспособных специалистов. Данное исследование является важным шагом в понимании и улучшении системы образования в технической сфере. Продолжение исследований, применение выявленных принципов управления качеством и внедрение рекомендаций могут способствовать повышению эффективности образовательного процесса и подготовке квалифицированных специалистов для успешной карьеры в технической сфере.

Библиографический список

1. Хаджиумери, А. А. Управление качеством подготовки будущих специалистов в вузе / А. А. Хаджиумери // Вестник Университета Российской академии образования. – 2011. – № 2. – С. 126-128. – EDN OXRPEL.
2. Скамницкая, Г. П. Система управления качеством подготовки специалистов в вузе / Г. П. Скамницкая // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М.А. Шолохова. Педагогика и психология. – 2010. – № 1. – С. 78-85. – EDN MVYQLP.
3. Сафонова, О. В. Система внутриинститутского управления качеством подготовки специалистов / О. В. Сафонова // Актуальные проблемы



- развития экономических систем: теория и практика : Сборник материалов международной научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2014 года / Институт экономики РАН; Под общей научной редакцией М.В. Конотопова. – Москва: Издательство «Русайнс», 2016. – С. 181-185. – EDN WPGAAB.
4. Заигрова Сафонова, О. В. Система управления (су) качеством подготовки специалистов в вузе / О. В. Заигрова Сафонова // Тенденции развития современных информационных технологий, моделей экономических, правовых и управленческих систем : Материалы IX международной научно-практической конференции, Рязань, 24 сентября 2014 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ)" Рязанский филиал, Международный образовательный консорциум "Электронный университет". – Рязань: Рязанский филиал МЭСИ, 2014. – С. 71-73. – EDN TSSNAL.
 5. Малаханова, А. Г. Система управления качеством подготовки специалистов на выпускающей кафедре / А. Г. Малаханова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006. – № 2(10). – С. 18-23. – EDN KWBJJX.
 6. Суслов, А. Г. Кафедральная система управления качеством подготовки специалистов, основанная на процессном подходе / А. Г. Суслов, А. Г. Овдиенко // Инженерное образование. – 2005. – № 3. – С. 82-89. – EDN WBKPVZ.
 7. Пчелина, И. В. Система непрерывного образования в области управления качеством подготовки специалистов / И. В. Пчелина // Дальневосточный медицинский журнал. – 2002. – № 2. – С. 106-109. – EDN SAVJJH.
 8. Мещерякова, И. В. Система внутриинститутского управления качеством подготовки специалистов / И. В. Мещерякова // Тенденции развития современных информационных технологий, моделей экономических, правовых и управленческих систем : Материалы IX международной научно-практической конференции, Рязань, 24 сентября 2014 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ)" Рязанский филиал, Международный образовательный консорциум "Электронный университет". – Рязань: Рязанский филиал МЭСИ, 2014. – С. 117-120. – EDN TSQZVF.
 9. Сергеева, Э. В. Система управления качеством подготовки специалистов среднего профессионального образования (на примере ГАПОУ СО «Краснотурьинский индустриальный колледж») / Э. В. Сергеева // Уральский вестник образования. – 2023. – № 2. – С. 26-31. – EDN PSXJAV.
 10. Резюкова, Л. В. Роль качества профессионального образования в развитии интеллектуального потенциала трудовых ресурсов / Л. В. Резюкова, И. В. Резюков // Состояние и перспективы развития инновационных технологий в России и за рубежом : материалы VII Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 28–29 января 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2022. – С. 191-196. – EDN ZZBZRR.
 11. Пьянусов, А. В. Система управления качеством подготовки специалистов на основе мониторинга процесса формирования военно-профессиональных компетенций / А. В. Пьянусов // Развитие высшего образования: теория и практика : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 17 февраля 2023 года. – Омск: Филиал федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации в г. Омске, 2023. – С. 209-215. – EDN CQKIOT.
 12. Категорская, Т. П. Совершенствование оценки качества образовательных услуг в сфере высшего образования : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность;



- стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Категорская Татьяна Петровна. – Красноярск, 2023. – 22 с. – EDN FHRKGP.
13. Сергушина, Е. С. Обзор исследований вопросов анализа методик дистанционного обучения в системе среднего профессионального образования / Е. С. Сергушина, О. В. Кабанов // Вестник РМАТ. – 2022. – № 4. – С. 84-87. – EDN WRYGYI.
14. Ефимушкина, С. В. О проблемах контроля знаний студентов / С. В. Ефимушкина, Ю. Б. Икреникова // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 13. – С. 429-435. – EDN IKLZBN.
15. Сергушина, Е. С. Факторы, влияющие на успеваемость студентов среднего профессионального образования при дистанционном обучении / Е. С. Сергушина, В. А. Богатырская, О. В. Кабанов // Научный вестник Гуманитарно-социального института. – 2023. – № 16. – С. 5. – EDN DQMKNH.
16. Магомедов, Г. М. Оценочная деятельность как основа управления качеством практической подготовки будущих специалистов в вузе / Г. М. Магомедов, М. В. Гамзаева // Мир науки, культуры, образования. – 2020. – № 2(81). – С. 182-184. – DOI 10.24411/1991-5497-2020-00254. – EDN VOPFFR.
17. Долгова, А. М. Использование интерактивных учебных пособий при обучении студентов / А. М. Долгова, О. В. Кабанов, Е. С. Сергушина // Гуманитарный вестник Донского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2. – С. 159-164. – EDN SOGUBV.

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

Статья поступила в редакцию 01.06.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

The article was submitted 01.06.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 12.08.2024.

АВТОРАМ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

(включено в категорию К2 перечня ВАК, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,647)

Сайт: <https://www.expert763.ru/>

Научные специальности:

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

Размещение статей в сетевом издании платное.

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

Статью высылать по адресу: expert763@mail.ru

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

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

Структурные параметры:

Статья обязательно должна иметь элементы, отвечающие следующим параметрам:

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

2. Тело статьи:

ВВЕДЕНИЕ

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

(кратко описывается проблема исследования и значение ее решения)

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

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

Обосновывается актуальность исследования.

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

МЕТОДОЛОГИЯ

Формирование целей статьи.

(указывается цель статьи)

Используемые методы, методики и технологии.

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

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

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



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

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях.

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

ВЫВОДЫ

Выводы исследования.

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

Перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.

(указываются направления, по которым необходимо провести дальнейшие исследования)

3. Список литературы (не проверяется на антиплагиат).

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

Технические параметры:

Названия файла:

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

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

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

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

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

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

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы. Сканированные рисунки исполнять с 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>



Условия размещения материалов

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна **в системе АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее 75%, *в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов*):

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

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

Сетевое научно-практическое издание

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 3 (26) 2024 г.

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

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

Подписано для публикации на сайте
<http://expert763.ru> 30.09.2024.
Электронные текстовые данные (13,2 Мб).
Распространяется бесплатно.
Учредитель, издатель и редакция журнала -

АНО "ИССТЭ".

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 3 (26) 2024

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

Signed for publication on the website
<http://expert763.ru> 30.09.2024.
Electronic text data (13.2 Mb)
Distributed free of charge.
Founder, publisher and editorial board -

INO "IFCTE".

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