

ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2022, №2 (17) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Expert:
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель

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

Издаётся с 2019 г. Выходит 6 раз в год.
Префикс DOI: 10.51608/26867818

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-76688 от 02.09.2019 г.

Журнал включён в **перечень 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.;
- 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.

Журнал включен в базы данных: **РИНЦ eLIBRARY.ru, КиберЛенинка.**



©2021 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, Заслуженный деятель науки РФ, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

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

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

БАКУЛИНА Лилия Талгатовна – доктор юридических наук, доцент, декан юридического факультета, Казанский (Приволжский) федеральный университет

БЕККЕР Александр Тевьевич – Заслуженный работник высшей школы РФ, академик РААСН, 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

БИЛЬЧАК Василий Степанович – Заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор, кафедра микроэкономики, Варминьско-Мазурский Университет (Польша, Ольштына)

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

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

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

ИСАКУЛОВ Байзак Разакovich – 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)

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 – Заслуженный строитель Российской Федерации, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия)

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

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

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

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

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

ЮРАСОВ Алексей Владимирович – доктор экономических наук, профессор, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса (Литва, Вильнюс)

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"

Published since 2019. Published 6 times a year.

Prefix DOI: 10.51608/26867818

The certificate of mass media registration **PI № FS 77-76688**
issued by Federal Service of Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Communications

The journal 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;
- 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 journal is included **Russian Science Citation Index (RSCI), CyberLeninka.**



©2021 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 – Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Saratov, Russia)

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

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

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

Alexander T. BEKKER – Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Academician of RAACS, 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)

Vasily S. BILCHAK – Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Economics, Prof., Department of Microeconomics, University of Warmia and Mazury (Olsztyn, Poland)

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

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

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

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

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

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

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

Vladimir P. SELYAEV – Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAACS, 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 – Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Builder of the Russian Federation, 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., Academician of RAACS, Vice President, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

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

Aleksei V. IURASOV – Prof., PhD, Verslo technologijų ir verslininkystės katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Vilnius, Lithuania)

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, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт, профессор Тольяттинского государственного университета
СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович – заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, профессор кафедры менеджмента и цифрового маркетинга, Самарский университет государственного управления
"Международный институт рынка" (Самара, Россия)
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)
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 – доктор технических наук, советник РААСН, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство", Тольяттинский государственный университет
ЕФИМЦЕВА Татьяна Владимировна – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой предпринимательского и природоресурсного права, Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина, Оренбургский филиал
ЖАДАНОВ Виктор Иванович – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет
КВАНИНА Валентина Вячеславовна – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой «Предпринимательское, конкурентное и экологическое право», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия)
КОРОБКОВ Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева
КОРОБКОВ Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева
КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – кандидат технических наук, профессор, советник РААСН, директор института строительства и архитектуры, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола
КУПРИЯНОВ Валерий Николаевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет
МАРКИН Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет
МЕДВЕДЕВ Валентин Григорьевич – доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры Теории и истории государства и права, Тольяттинский государственный университет

МИЛУШЕВА Татьяна Владимировна – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой гражданского права и процесса, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Поволжский институт управления им. П.А. Столыпина (Саранск, Россия)
МИРСАЯПОВ Ильзар Талгатович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)
МИРСАЯПОВ Илшат Талгатович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)
МИХАЙЛОВ Андрей Валерьевич – кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой Предпринимательского и энергетического права, Казанский (Приволжский) федеральный университет
МОИСЕЕВ Александр Михайлович – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой Криминалистики, Донбасская юридическая академия (ДНР, Донецк)
НИЗИНА Татьяна Анатольевна – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, профессор кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)
ПОТАПОВ Александр Николаевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия)
САЛИЕВА Роза Наишевна – доктор юридических наук, профессор, заведующий лабораторией правовых проблем недропользования, экологии и топливно-энергетического комплекса, Академия наук Республики Татарстан
САЛИМОВА Татьяна Анатольевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)
СЕРОВА Ольга Александровна – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет
СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Россия)
СОКОЛОВ Борис Сергеевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ, лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипрониавиапром"
СУЛЕЙМАНОВ Альфред Мидхатович – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, Россия)
СУШКОВА Юлия Николаевна – доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой международного и европейского права, декан юридического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)
ХОЗИН Вадим Григорьевич – Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология строительных материалов, изделий и конструкций", Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ХРИСТИЧ Дмитрий Викторович – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет
ШЕСТАКОВ Александр Алексеевич – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой "Философия и социально-гуманитарные науки", Самарский государственный технический университет

Editorial Staff:

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

Sergey M. ANPILOV – Deputy Editor-in-Chief, Expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

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

Svetlana V. VAVRENYUK – Corresponding Member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, CIRDO of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

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

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

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

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

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

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

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

Vitaly G. KOTLOV – Candidate of Technical, Prof., Director of the Institute of Construction and Architecture, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Итоги 2021 года	11
С днём российской науки !	
СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович.....	13

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

К вопросу о создании суверенной системы оценки научной деятельности в России	
АНПИЛОВ Сергей Михайлович, СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович	14

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Влияние вторичного нагружения на осадку основания	
БУЛГАКОВ Алексей Григорьевич, ЗАВАЛИШИН Евгений Васильевич, ХАРЧЕНКО Алексей Игоревич, ДУБРАКОВА Ксения Олеговна, БЕЛОЗЕРОВА Юлия Сергеевна	17
Прочность на растяжение при изгибе бетонов нового поколения	
БУЛГАКОВ Алексей Григорьевич, ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна, ИШУТИН Андрей Александрович, АФОНИН Виктор Васильевич, МОИСЕЕВ Владислав Валентинович	21
Расчет конструкций из нелинейно-упругого материала модифицированным методом последовательных нагружений	
ГОРБАЧЕВА Ольга Александровна	28
Обзор патентов по изготовлению изделий под давлением из высокопрочного фибробетона	
ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, КРЕТОВ Дмитрий Алексеевич	32
Устройство зоны отдыха на эксплуатируемой кровле	
ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич, МЕЛЬНИК Мария Сергеевна	36
Исследование влияния пластификаторов на структурообразование активированного цементного камня методом ИК-спектроскопии	
ИБРАГИМОВ Руслан Абдирашитович	39
Развитие деформаций крена регенератора воздуха стекловаренной печи	
МУРТАЗИН Марат Расимович, ИНОЗЕМЦЕВ Вячеслав Константинович, ЯФАРОВ Рустем Кязымович	46
Геотехнические проблемы и устойчивость высотного объекта	
МУРТАЗИНА Гульсем Расимовна.....	51
Сравнительный анализ результатов расчета усиления стен многоэтажного каменного здания поперечным армированием из стеклопластиковой и стальной арматуры	
ПИКСАЙКИНА Анна Александровна, ЛАЗАРЕВ Александр Львович, БУСАРГИН Дмитрий Александрович	57

О Сибирской строительной неделе СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович.....	66
Проблема комплексности и системности качественного описания и статистической достоверности количественной оценки характеристик структуры строительных композитов ЧЕРНЫШОВ Евгений Михайлович, МАКЕЕВ Алексей Иванович.....	75

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЁРДОГО ТЕЛА

О вариантах выбора диаграмм деформирования композитных материалов и не только ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич, ЗАХАРОВА Ирина Александровна, СУДАКОВА Инга Анатольевна.....	81
--	----

РЕЦЕНЗИИ

Рецензия на учебное пособие «Большой строительный словарь». Авторы: Римшин В.И., Кецко Е.С, Трунтов П.С. ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович	91
<i>Условия размещения материалов</i>	93

CONTENT

Results of 2021	11
On the Russian Science Day! SKOLUBOVICH Yuri Leonidovich	13

EXPERT EVALUATIONS

On the Establishment of a Sovereign System for Evaluating Scientific Activities in Russia ANPILOV Sergey Mikhailovich, SOROCHAIKIN Andrey Nikonovich	14
--	----

TECHNICAL SCIENCE. BUILDING AND ARCHITECTURE

The Effect of Secondary Loading on the Basesediment BULGAKOV Aleksey Grigorievich, ZAVALISHIN Evgeny Vasilievich, KHARCHENKO Aleksey Igorevich, DUBRAKOVA Ksenia Olegovna, BELOZEROVA Yulia Sergeevna	17
Tensile Strength During Bending of New Generation Concrete BULGAKOV Aleksey Grigorievich, EROFEEVA Irina Vladimirovna, ISHUTIN Andrey Alexandrovich, AFONIN Viktor Vasilievich, MOISEEV Vladislav Valentinovich	21
Calculation of Structures Made of Nonlinear Elastic Material By the Modified Method of Sequential Loads GORBACHEVA Olga Alexandrovna	28
Patent Review of High-Strength Fibro-Concrete Productsmade Under Pressure EROFEEV Vladimir Trofimovich, KRETOV Dmitry Alexandrovich	32
Arrangement of a Recreation Area on an Operating Roof ERYSHEV Valery Alekseevich, MELNIK Maria Sergeevna.....	36
Investigation of the Effect of Plasticizers on the Structure Formation of Activated Cement Stone By ir Spectroscopy IBRAGIMOV Ruslan Abdirashitovich.....	39
Development of Lurch Deformations Glassfurnace Air MURTAZIN Marat Rasimovich, INOZEMTSEV Vyacheslav Konstantinovich, YAFAROV Rustem Kyazimovich, VOLKOV Konstantin Olegovich.....	46
Geotechnical Problems And Stability of a High-Rise Building MURTAZINA Gulsem Rasimovna.....	51
Comparative Analysis of the Results of Calculating the Reinforcement of the Walls of a Multi-Storey Stone Building With Transverse Reinforcement Made of Fiberglass and Steel Reinforcement PIKSAIKINA Anna Aleksandrovna, LAZAREV Alexander Lvovich, BUSARGIN Dmitry Alexandrovich.....	57

About Siberian Construction Week SKOLUBOVICH Yuri Leonidovich	66
Problem of Complexity, Systemqualitative Description and Statistical Reliability of the Building Characteristics Composites CHERNYSHOV Evgeny Mikhailovich, MAKEEV Aleksey Ivanovich	75

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

Selection of Diagrams for Deformation of Composite Materials and More TRESHEV Alexander Anatolyevich, ZAKHAROVA Irina Aleksandrovna, SUDAKOVA Inga Anatolievna	81
---	----

REVIEWS

Review of the Manual “Big Construction Dictionary”. Authors: Rimshin V.I., Ketsko E.S., Truntov P.S. EROFEEV Vladimir Trofimovich	91
<i>Conditions for Posting Materials</i>	93



ИТОГИ 2021 ГОДА

Дорогие авторы и уважаемые читатели!

Редакцией журнала был пройден очередной путь, в условиях конкуренции и постоянных реформ. Вы читаете очередной 17-й номер журнала, выпущенный в строгом соответствии с утвержденным графиком выхода и условиями размещения журнала в БД РИНЦ.

За прошедший период времени сложились взаимовыгодные отношения, слаженная работа с Вами, с многими авторами и научными организациями. Нашими партнерами стали ведущие вузы из многих регионов страны, расширена география авторов. Журнал востребован широкой аудиторией.

Журнал публикует статьи и заметки, содержащие новые научные результаты исследований теоретических и прикладных проблем в области естественных, технических, социальных и гуманитарных наук, по следующим отраслям науки:

- Технические науки. Строительство и архитектура;
- Социальные и гуманитарные науки. Право.

В журнале публикуются научные статьи, обзоры и прогнозы, характеризующие современное состояние основных проблем в научной инновационной деятельности по отраслям науки, материалы научных дискуссий по различным вопросам научного познания, рецензии на новые книги.

Решениями Президиума ВАК Минобрнауки РФ журнал включён в **перечень 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.;
- 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки), с 27.01.2022 г.;
- 2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки), с 27.01.2022 г.;
- 2.1.9 – Строительная механика (технические науки), с 15.11.2021 г.

Доводим до вашего сведения часть показателей (подробнее см. https://elibrary.ru/title_profile.asp?id=73720) из анализа публикационной активности журнала в том числе:

- **0,935** – двухлетний импакт-фактор РИНЦ¹;
- **1,774** – двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования всех источников¹;
- **0,742** – двухлетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования¹;
- **2022** место среди 4371 научных журналов в рейтинге SCIENCE INDEX за 2020 год²;
- **29** место среди 98 журналов по тематике «Строительство. Архитектура» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2020 год²;
- **184** место среди 376 журналов по тематике «Государство и право. Юридические науки» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2020 год².

Мы дорожим достигнутыми результатами и знаем, что они получены благодаря совместному профессиональному труду авторов научных публикаций, редакторского и издательского коллективов.

В первую очередь за счет того научно-исследовательского инновационного материала, который был предоставлен Вами – авторами. Благодарим авторов за результативное сотрудничество, и надеемся стать для Вас еще более полезным и ценным партнёром.

Исполняя рекомендации ВАК, с целью повышения качества и эффективности нормативно-правового регулирования системы аттестации научных и научно-педагогических кадров, редакционным советом внесены изменения в правила приема и рецензирования научных статей.

Памятка авторам с общепринятыми требованиями к научной статье, рубрикация журнала представлены на сайте редакции журнала <https://www.expert763.ru>.

Редакция желает Вам дальнейших творческих успехов в научно-исследовательской деятельности.

*Редакционный совет журнала
«Эксперт: теория и практика»*

¹ По состоянию на август 2021 г.

² По состоянию на март 2022 г.



RESULTS OF 2021

Dear authors and readers!

The editorial office of the magazine has passed the next path under conditions of competition and constant reforms. You are reading the 17th issue of the journal, issued in strict accordance with the approved release schedule and the conditions of the magazine placement in the database Russian Science Citation Index.

Over the past period of time, we have developed mutually beneficial relations, coordinated work with you, authors and scientific organizations. Leading universities from many regions of the country have become our partners, the geography of the authors has been expanded. The magazine is in demand by a wide audience.

The journal publishes articles and notes containing new scientific results of research of theoretical and applied problems in the field of natural, technical, social and human sciences, in the following fields of science:

- **Technical Sciences. Construction and Architecture;**
- **Social and Humanities. Law.**

The journal is included in the list of peer-reviewed scientific journals and publications, in which the main results of dissertations for candidate and doctorate (PhD) degrees in scientific specialties should be published.

We cherish the achieved results and know that they are the outcome of the joint professional work of the authors of scientific publications, editorial and publishing teams.

In order to improve the quality and effectiveness of the regulatory system of certification of scientific and scientific-pedagogical personnel, the editorial board amended the rules for the reception and review of scientific articles.

The notice to the authors with the general requirements to the scientific article and the columns of the journal are presented on the journal site <https://www.expert763.ru>.

The editorial staff wishes you further success in research activities.

*«Expert: Theory and Practice»
journal Editorial Board*



С ДНЁМ РОССИЙСКОЙ НАУКИ!



Дорогие коллеги, члены РААСН!

Уважаемые читатели журнала «Эксперт: теория и практика», студенты, аспиранты, профессорско-преподавательский состав и сотрудники учебных заведений России!

Поздравляю Вас с профессиональным праздником – с днём российской науки, который отмечается в нашей стране ежегодно 8 февраля.

Без науки невозможно быть конкурентными. Наука была и остается главной движущей силой прогресса и развития потенциала страны, поэтому её поддержка входит в число приоритетных национальных проектов.

С самого своего основания наш вуз славился своими выдающимися учеными и научными школами. Нынешние поколения ученых и исследователей НГАСУ (Сибстрин) берегут и развивают замечательные традиции, заложенные предшественниками. Сегодня Сибстрин заслуженно считается одним из ведущих научных центров архитектуры, строительства и ЖКХ в Сибири.

Университет принимает активное участие в решении самых актуальных вопросов, стоящих перед нашим городом, регионом и страной, развивает приоритетные направления строительной науки.

Желаю Вам крепкого здоровья, творческой энергии, новых открытий, смелых идей и успехов в их реализации, счастья и благополучия!

*Ректор НГАСУ (Сибстрин), член-корреспондент РААСН,
доктор технических наук, профессор Ю.Л. Сколубович*

ON THE RUSSIAN SCIENCE DAY!

Dear colleagues!

Dear readers of “EXPERT: THEORY AND PRACTICE”, students, professors, and employees of educational institutions of Russia!

Congratulations on a professional holiday – Russian science day, which is celebrated in our country annually on February 8.

Without science, you can't be competitive. Science has been and continues to be the main driver of progress and capacity development in the country, and its support is a prior national project.

Since its foundation, our university has been renowned for its outstanding researchers and scientific schools. Current generations of scientists and researchers of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) preserve and develop remarkable traditions laid down by predecessors. Today Sibstrin is considered one of the leading scientific centers of architecture, construction, and housing in Siberia.

Sibstrin takes an active part in solving the most topical issues facing our city, region, and country, developing priority directions of construction science.

I wish you good health, creative energy, discoveries, bold ideas, and success in their realization, and happiness!

*Rector of the Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin), corresponding member of RAACS,
Doctor of Technical Science, Professor Yu.L. Skolubovich*

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Научная статья

УДК 001

ГРНТИ: 12.41: Организация науки. Политика в области науки

doi:10.51608/26867818_2022_2_14

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ СУВЕРЕННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ

© Авторы 2022

SPIN: 1041-9513

AuthorID: 260821

ORCID: 0000-0002-6512-5803

АНПИЛОВ Сергей Михайлович,

доктор технических наук, профессор кафедры
Тольяттинский государственный университет
(445020, Россия, Тольятти, ул. Белорусская, 14,
e-mail: anpilovsm@gmail.com)

SPIN: 3971-7691

AuthorID: 251757

ORCID: 0000-0003-2939-1618

СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович, доктор философских наук,
профессор кафедры менеджмента и цифрового маркетинга
СГУ «Университет "МИР"»
(443030, Россия, Самара, ул. Г.С. Аксакова (Желябова), д.21,
e-mail: expert763@mail.ru)

Аннотация. В данной работе представлен анализ первых действий по созданию в России суверенной системы оценки научной деятельности и мнений экспертного сообщества. Выражена авторская позиция на происходящие события и планируемые действия по регулированию публикационной активности и оценке научной деятельности.

Ключевые слова: наукометрия, научная политика, РИНЦ, RSCI, научные журналы, суверенная система оценки научной деятельности, публикационная активность

Для цитирования: Анпилов С.М., Сорочайкин А.Н. К вопросу о создании суверенной системы оценки научной деятельности в России // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 14-16. doi:10.51608/26867818_2022_2_14.

Original article

ON THE ESTABLISHMENT OF A SOVEREIGN SYSTEM FOR EVALUATING SCIENTIFIC ACTIVITIES IN RUSSIA

© The Author(s) 2022

ANPILOV Sergey Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department
Togliatti State University
(445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya st., 14, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

SOROCHAIKIN Andrey Nikonovich, Doctor of Philosophy,
Professor of the Department of Management and Digital Marketing
Samara State University of Management «International Market Institute»
(443030, Russia, Samara, st. G.S. Aksakov (Zhelyabova), 21,
e-mail: expert763@mail.ru)

Annotation. The paper analyses the first actions of creation a sovereign system of scientific activity assessment in Russia. Opinions of the expert community are presented. Author expresses position on current events and planned actions on regulation of publication activity and assessment of scientific activity.

Keywords: scientometrics, scientific policy, RSCI, scientific journals, sovereign system of assessment of scientific activity, publication activity

For citation: Anpilov S.M., Sorochaikin A.N. On the Establishment of a Sovereign System for Evaluating Scientific Activities in Russia // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 14-16. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_14.



Сложившаяся политическая ситуация уже оказала существенное влияние на жизнедеятельность науки и высшей школы в Российской Федерации. Мы уже понимаем, что регулятор в очередной раз внесет радикальные изменения в систему оценки научной деятельности.

Министр науки и высшего образования Валерий Фальков, выполняя прямое указание Вице-преьера Дмитрия Чернышенко от 7 марта 2022 года об оперативном внедрении суверенной системы оценки эффективности научных исследований, уже 11 марта на площадке Общественно-экспертного совета по национальному проекту «Наука и университеты» в ходе обсуждения вопроса о создании Национальной системы оценки результативности научных исследований и разработок заявил [1]:

- о наличии наработок «для создания собственной, суверенной, отвечающей интересам Российской Федерации, системы оценки научной деятельности»;

- о необходимости разработки новой системы оценки «с учетом мнения профессионального и экспертного сообщества», основанной на принципиально новых показателях, индикаторах и оценках исследовательской деятельности, способной «задать ориентиры для работы не только отдельного учебного, но и больших и малых научных коллективов, лабораторий, университетов и НИИ»;

- о предложении «пересмотреть требования к наличию у ученых публикаций в зарубежных научных изданиях, включенных в системы цитирования Web of Science и Scopus при выполнении федеральных проектов и программ, а также государственных заданий на научные исследования».

Участники заседания сформулировали важные инициативы и рекомендации по формированию как самой системы, так и критериев оценки научной деятельности с учетом факторов оперативного реагирования на сложившуюся ситуацию и стратегического развития отрасли:

- вице-президент РАН Хохлов А.Р. [1] ратовал за расширение использования опыта работы академии в части создания базы ведущих российских журналов Russian Science Citation Index (RSCI), подчеркивая: «... в текущих условиях публикации в журналах RSCI при оценке публикационной активности могут приравниваться к публикациям в журналах из международных баз данных Web of Science и Scopus», что «будет значимой мерой поддержки российских научных журналов»;

- ректор Южного федерального университета И.К. Шевченко [1] обратила внимание министра и коллег на необходимость решения данного «вопроса без нанесения серьезного отложенного ущерба действующей системе планирования исследова-

ний и разработок возможно только при реализации системного подхода» при разумном сочетании «анализа текущих практик по работе с публикациями» с «разработкой комплекса предложений, включающих пересмотр политики научных публикаций РФ и одновременную проработку новой системы оценки планов и результатов научных программ и проектов».

На наш взгляд, наиболее актуально высказался первый проректор НИУ ВШЭ Леонидом Гохбергом о необходимости «уделить внимание развитию и продвижению ведущих российских научных журналов, в том числе разработку совместных платформ научных журналов открытого доступа» с дружественными партнерами с учетом опыта предыдущих лет и достигнутых итогов «международной публикационной активности и цитируемости» [1].

Предложение, представленное на совещании Л. Гохбергом, ранее уже не раз озвучивалось. Вот, например, в своей работе В.В. Миронов пишет [2]: «На одной из встреч с академиками ректор МГУ академик В.А. Садовничий очень точно сказал, что было бы гораздо эффективнее те деньги, которые уже потрачены на фактически искусственное поднятие индексов цитирования, потратить на развитие наших научных журналов, в том числе и с целью продвижения русского языка. Сам по себе этот фактор цитируемости, конечно, важен, но он не должен быть доминирующим».

Здесь вновь хочется обратиться к позиции О.В. Третьяковой [3]: «Очевидно, что результаты всех исследований российских ученых не могут быть опубликованы только в зарубежных журналах. Для обеспечения конкурентоспособности нашей страны в мире необходимо формировать ядро российских научных журналов, способных наравне с лидерами международной научной периодики оказывать влияние на развитие всех научных направлений».

В ранее опубликованных работах [см., например, 4-6], мы так же обращали внимание научного сообщества на необходимость интенсивной поддержки развития отечественной наукометрической системы и сектора RSCI в БД РИНЦ, агрессивного продвижения именно российских научных журналов, популяризацию и поднятие их авторитета за счет системной поддержки государства, академического сообщества и ведущих российских университетов.

И в реализации данного направления архиважным станет человеческий ресурс – «сами ученые, знакомые с публикационными международными нормами и практиками» [7, с. 65] и лидеры, способные «возглавить и организовать трудный и затяжной по времени отдачи процесс эффективной работы научного периодического издания» [8, с. 69].

С нашей точки зрения необходимо поддержать предложение по увеличению значимости следующих



показателей научной деятельности – патентная активность исследователей, уровень внедрения и последующего использования результатов исследований в народном хозяйстве, наличие совместных исследований с промышленными компаниями.

При этом значительный уровень сомнений вызывает вариант размещения обсуждаемой суверенной системы оценки эффективности научных исследований на базе цифровых инструментов ресурса «Единая государственная информационная система учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения» или сервисов домена «Наука» на платформе «Гостех». В памяти научного сообщества еще не остыл след от активно продвигаемого и щедро финансируемого, в свое время, проекта «Карта российской науки».

Считаем, что необходимо объективно рассмотреть возможности и практический опыт Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), который сегодня имеет максимальный объем необходимых информационно-цифровых ресурсов для создания нового инструмента оценки результативности научных исследований и разработок российских исследователей.

Гендиректор Научной электронной библиотеки Геннадий Еременко прямо заявляет: «Национальная система оценки науки может быть построена на данных РИНЦ» [9].

Определенные затруднения в реализации задуманных проектов также окажут:

- «элитарный характер государственного финансирования науки в российских университетах» [см. 10] уже приведший к тому, что «поддержку, как правило, получают передовые вузы, зачастую участвующие не в одной программе, а также уже изначально имеющие серьезный научный задел», а «остальные университеты, не имеющие возможностей соперничать с более продвинутыми конкурентами, отстают еще больше» [11, с. 112];

- излишняя активность по административному принуждению исследователей к новой парадигме научной деятельности.

Основной вывод, который нужно сделать всем участникам научного сообщества в данной ситуации: перестать заискивать перед международными базами данных, полностью направив усилия на всемерную поддержку отечественных изданий и развитие российской инфраструктуры в области науки и обра-

зования, учитывая положительный опыт практического использования наукометрии в России.

Список источников

1. Эксперты обсудили создание Национальной системы оценки результативности научных исследований и разработок / Министерство науки и высшего образования РФ. URL: https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=48219
2. Миронов, В. Наукометрия как разновидность безумия / В. Миронов // Сократ. Журнал современной философии. Спецвыпуск. – 2016. – С. 8–11.
3. Третьякова, О.В. Импакт-рейтинг экономических журналов академического сектора: критерии и методика построения / О.В. Третьякова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2018. – Т. 11. – №3. – С. 179-194. – DOI: 10.15838/esc.2018.3.57.12
4. Анпилов, С.М. Динамика публикационной активности государственных вузов Самарской области в период 2014-2019 годов (на основе БД РИНЦ) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. – 2019. – № 3(3). – С. 44-54. – DOI 10.24411/2686-7818-2019-00007.
5. Сорочайкин, А.Н. Импакт-рейтинг ряда научных журналов России по тематике "строительство. Архитектура" на основе библиометрических показателей БД РИНЦ / А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 5(8). – С. 39-46. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10046.
6. Анпилов, С.М. Комплексный балл публикационной результативности вузов Самарской области (на основе БД РИНЦ) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Основы экономики, управления и права. – 2021. – № 3(28). – С. 15-22. – DOI 10.51608/23058641_2021_3_15.
7. Губа, К.С. Наукометрические показатели в оценке российских университетов: обзор исследований / К.С. Губа // Мир России. Социология. Этнология. – 2022. – Т. 31. - № 1. – С. 47-93. DOI 10.17323/1811-038X-2022-31-1-49-73.
8. Сорочайкин, А.Н. Научные журналы Самарской области: состояние, тенденции / А.Н. Сорочайкин // Основы экономики, управления и права. – 2021. – № 6(31). – С. 65-70. – DOI 10.51608/23058641_2021_6_65.
9. Национальная система оценки науки может быть построена на данных РИНЦ // Газета.ru. URL: <https://www.gazeta.ru/science/2022/03/14/14624287.shtml>
10. Дежина, И.Г. Научные «центры превосходства» в российских университетах: смена моделей / И.Г. Дежина // ЭКО. – 2020. – № 4(550). – С. 87-109. – DOI 10.30680/ECO0131-7652-2020-4-87-109.
11. Терещенко, Д.С. Эмпирический анализ публикационной активности: конвергенция российских регионов? / Д.С. Терещенко // Пространственная экономика. – 2020. – Т. 16. – № 3. – С. 109-138. – DOI 10.14530/se.2020.3.109-138.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 17.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.

Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения,

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2022_2_17

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ОСАДКУ ОСНОВАНИЯ

© Авторы 2022
SPIN: 7984-8836
AuthorID: 281778

БУЛГАКОВ Алексей Григорьевич, доктор технических наук,
профессор кафедры строительных материалов и технологий
Юго-Западный государственный университет
(305040, Россия, Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: agi.bulgakov@mail.ru)

SPIN: 8036-3974
AuthorID: 160962

ЗАВАЛИШИН Евгений Васильевич, кандидат технических наук,
доцент кафедры инженерной и компьютерной графики
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
(430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68, e-mail: evaz@mail.ru)

ХАРЧЕНКО Алексей Игоревич, кандидат технических наук,
заместитель генерального директора
ООО «Научно-инженерный центр подземных сооружений», (Россия, Москва)

SPIN: 5138-4589
AuthorID: 679071

ДУБРАКОВА Ксения Олеговна, кандидат технических наук
*ОБУ «Проектный институт гражданского строительства, планировки
и застройки городов и поселков «Курскгражданпроект»* (Россия, Курск)

БЕЛОЗЕРОВА Юлия Сергеевна, студентка,
кафедра промышленного и гражданского строительства
Юго-Западный государственный университет
(305040, Россия, Курск, ул. 50 лет Октября, 94)

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос влияния вторичного нагружения при расчете осадки основания. Согласно своду правил, при расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается не учитывать второе слагаемое, которое отражает влияние вторичного нагружения. Данное допущение не всегда может быть применено при проведении расчетов осадки фундаментов, так как при определенных условиях степень влияния вторичного нагружения может оказаться существенной. При исследовании влияния второго слагаемого на осадку основания фундамента была проанализирована совокупность методов, включающая в себя изучение литературы по рассматриваемому вопросу, аналитические и экспериментальные исследования. В результате работы была изучена степень влияния и установлена зависимость осадки основания от напряжения по вторичной ветви нагружений при расчете осадки основания методом послойного суммирования.

Ключевые слова: осадка, метод послойного суммирования, вторичное нагружение, основание зданий, система «здание-основание»

Для цитирования: Влияние вторичного нагружения на осадку основания / А.Г. Булгаков, Е.В. Завалишин, А.И. Харченко, К.О. Дубракова, Ю.С. Белозерова // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 17-20.
doi:10.51608/26867818_2022_2_17.



Original article

THE EFFECT OF SECONDARY LOADING ON THE BASE SEDIMENT

© The Author(s) 2022 **BULGAKOV Aleksey Grigorievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials and Technologies *Southwestern State University* (305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October, 94)

ZAVALISHIN Evgeny Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering and Computer Graphics *Mordovian State University N.P. Ogaryova* (430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68, e-mail: evaz@mail.ru)

KHARCHENKO Aleksey Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director *LLC Scientific and Engineering Center for Underground Structures, (Russia Moscow)*

DUBRAKOVA Ksenia Olegovna, Candidate of Technical Sciences *OBU "Design Institute of Civil Engineering, Planning and Development cities and towns "Kurskgrazhdanproekt" (Russia, Kursk)*

BELOZEROVA Yulia Sergeevna, student, Department of Industrial and Civil Engineering *Southwestern State University* (305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October, 94)

Annotation. This article considers the question of the influence of secondary loading in the calculation of the precipitation of the base. According to the set of rules, when calculating the precipitation of foundations erected in pits with a depth of less than 5 m, it is allowed not to take into account the second term, which reflects the influence of secondary loading. This assumption cannot always be applied when calculating the precipitation of foundations, since under certain conditions the degree of influence of secondary loading may be significant. During the study of the influence of the second term on the foundation sediment, a set of methods was analyzed, including the literature, analytical and experimental studies. As a result of the work, the degree of influence was studied and the dependence of the base precipitation on the stress along the secondary branch of loading was established when calculating the base precipitation by layer-by-layer summation.

Keywords: sediment, layer-by-layer summation method, secondary loading, foundation of buildings, «building-base» system

For citation: The effect of secondary loading on the base sediment / A.G. Bulgakov, E.V. Zavalishin, A.I. Kharchenko, K.O. Dubrakova, Yu.S. Belozeroва // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 17-20. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_17.

Введение. Основной задачей фундаментов как строительных конструкций является передача усилий, действующих на здание или сооружение, в том числе и собственный вес, на грунты основания, которые в большинстве случаев являются слабым природным материалом по сравнению с материалом конструкций здания.

Под действием нагрузок грунт в основном работает на сжатие и на сдвиг, что приводит к деформациям оснований и осадкам зданий. Одной из важнейших задач на стадии проектирования является оценка осадки фундамента на сжимаемых основаниях. Осадку основания здания или сооружения можно определить различными методами, достоверность и степень точности которых определяется соответствием применяемых в

них расчетных схем и предпосылок действительным условиям работы грунтов.

В ходе работы предложена методика расчета, позволяющая определить степень влияния осадки основания от напряжения по вторичной ветви нагружений при расчете осадки основания по методу послойного суммирования.

Методы. Согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», осадка основания фундамента, с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства вычисляется методом послойного суммирования по формуле (1):

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zj,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zj,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (1)$$



где β - безразмерный коэффициент, равный 0,8;
 $\sigma_{zp,i}$ - среднее значение вертикального нормального напряжения (далее - вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;
 h_i - толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента;
 E_i - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения;
 $\sigma_{zy,i}$ - среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта;
 $E_{e,i}$ - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;
 n - число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Однако, в соответствии с п. 5.6.34 СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» при расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле (1) не учитывать второе слагаемое, отвечающее за влияние вторичного нагружения.

Данное допущение стоит применять не во всех случаях, поскольку при определенных условиях влияние вторичного нагружения на осадку основания может оказаться значительным.

Результаты. Для изучения влияния вторичного нагружения на осадку основания найдем отношение осадки основания фундамента с учетом второго слагаемого (S_a) к осадке (S), при условии, что среднее давление под подошвой фундамента меньше или равно вертикальному напряжению от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента ($p \leq \delta_{zg0}$).

При отсутствии опытных определений модуля деформации для сооружений геотехнических категорий 1 и 2 допускается принимать $E_e = 5E$.

Вертикальные напряжения от внешней нагрузки рассчитываем по формуле $\delta_{zp} = \alpha P$.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта рассчитываем по формуле $\delta_{zy} = \alpha \delta_{zg0}$, где $\delta_{zg0} = \gamma' d$. Получаем, что $\delta_{zy} = \alpha \gamma' d$.

Обозначим отношение осадки от первичного нагружения ко вторичному переменной ξ и подставим формулы вертикальных напряжений:

$$\xi = \frac{\frac{(\delta_{zp} - \delta_{zy}) h_i}{E}}{\frac{\delta_{zy} h_i}{5E}} = \frac{5(\delta_{zp} - \delta_{zy})}{\delta_{zy}} = \frac{5(\alpha P - \alpha \gamma' d)}{\alpha \gamma' d} = \frac{5(P - \gamma' d)}{\gamma' d} = \frac{5P}{\gamma' d} - 5. \quad (2)$$

Возьмем границы удельного веса грунта γ' в пределах от 12 до 20 кг/м³, границы глубины заложения грунта d в пределах от 0,6 до 5,0 м.

Для построения зависимости отношения осадки от первичной нагрузки ко вторичной ξ к давлению под подошвой фундамента P примем в произвольном отношении удельный вес и глубину заложения грунта. Для дальнейших расчетов найдем произведение удельного веса и глубины заложения грунта и сведем заданные значения в таблицу 1.

Таблица 1. Произвольные значения удельного веса и глубины заложения фундамента

n	γ' , кг/м ³	d , м	$\gamma' d$, кг/м ²
1	12	0,6	7,2
2	12	1,4	16,8
3	13,6	3,8	51,68
4	16,8	3	50,4
5	12,8	2,2	28,16
6	15,2	0,6	9,12
7	16	2,6	41,6
8	19,2	4,2	80,64
9	14,4	1	14,4
10	20	1,8	36
11	18,4	1,8	33,12
12	20	5	100

Используя данные, приведенные в таблице 1, применяя формулу (2), проводим численные исследования зависимости отношения осадки от первичного нагружения к осадке, вызванной вторичным нагружением, от давления под подошвой фундамента, глубины заложения и физических характеристик грунта. Результаты указанных исследований представлены графически на рисунке 1.

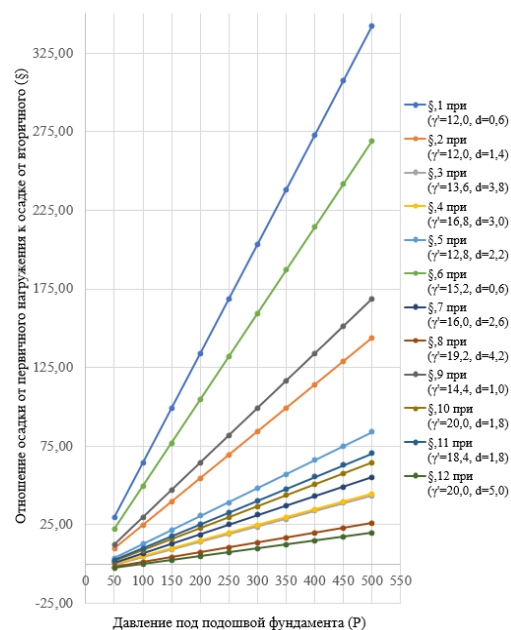


Рис. 1. Зависимость осадки от первичного нагружения к осадке от вторичного при различном давлении под подошвой фундамента

Определим степень влияния удельного веса и глубины заложения фундамента от давления под подошвой фундамента, по формуле (3)



$$\xi(\text{д.е.}) = \frac{1}{\xi} \quad (3)$$

На основе полученных данных построим график степени влияния удельного веса грунта и глубины заложения фундамента от давления под подошвой фундамента.

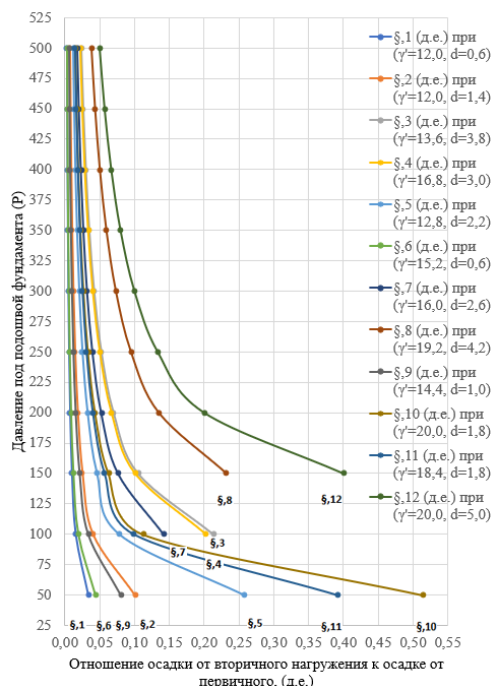


Рис. 2. Отношение осадки от вторичного нагружения к осадке от первичного при различных механических характеристиках грунта и глубины заложения фундамента

Если принять в качестве гипотезы утверждение о том, что изменением деформаций основания в пределах одного процента допустимо пренебречь, то в рамках отношения осадок от вторичного к первичному нагружениям равным 0,01 второе слагаемое в формуле (2) можно не учитывать. При этом на основе проведенных численных исследования определено:

- при давлении $P=50\div 150$ кПа осадка от вторичного нагружения превышает 1% при любых значениях удельного веса грунта γ' и глубины заложения фундамента d ;
- при давлении $P= 150\div 250$ кПа осадка от вторичного нагружения не превышает 1% при значениях удельного веса грунта в границах $\gamma' = 12\div 15,2$ кг/м³ и глубины заложения фундамента $d = 0,6$ м;
- при давлении $P= 250\div 500$ кПа осадка от вторичного нагружения не превышает 1% при значениях

удельного веса грунта в границах $\gamma' = 12\div 15,2$ кг/м³ пропорционально глубине заложения фундамента в границах $d = 1,4\div 0,6$ м.

Согласно полученным данным произведен анализ результатов и сформированы соответствующие выводы.

Выводы. По результатам анализа проведенных численных исследований можно сделать вывод о том, что необходимость учета осадки основания от напряжений, относящихся ко вторичной ветви нагружения, допустимо соотносить с произведением глубины заложения фундамента и плотностью грунта, залегающего выше подошвы его подошвы. При этом необходимо отдельно установить проценты деформаций основания, которыми допустимо пренебречь.

Список источников

1. Ахлюстин О.Е. Закономерности изменчивости физико-механических свойств просадочных грунтов Анапского район Краснодарского края: автореф. дис. к.геол.-мин.н. – Екатеринбург, 2013.
2. Барановский А.Г. Изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов под влиянием техногенных факторов // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. 2015. С. 92–97.
3. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса / Г.Г. Болдырев. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 696 с.
4. Бочарова, М.А. Предложения по усовершенствованию расчета осадок фундаментов, учитывающие анизотропные свойства грунтов / Бочарова М.А. // Вестник научных конференций. – Тамбов: Изд-во: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2016. С. 22–25.
5. Дубракова, К.О. Изменение физико-механических характеристик грунта эксплуатируемого основания / К.О. Дубракова, О.И. Куценко, И.Н. Карцев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. №3. С. 54–64.
6. Дубракова, К.О. Устойчивость рамно-стержневых конструктивных систем на просадочных грунтах / К.О. Дубракова, С.В. Дубраков, И.В. Завалиши // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. №5 (23). С. 117–128.
7. Калугин П.И., Пятигор Д.А. Особенности работы грунтов оснований фундаментов после реконструкции зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. №1. С. 60–64.
8. Ширяева, М.П. Классификация моделей грунтового основания/ М,П. Ширяева, Е.А. Кривонос // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2014. С. 18–25.
9. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения - М.: АСВ, 2016.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Научная статья

УДК 691.31:691.261.1:620.173

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_2_21

ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

- © Авторы 2022
SPIN: 7984-8836
AuthorID: 281778
БУЛГАКОВ Алексей Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий
Юго-Западный государственный университет (305040, Россия, Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: agi.bulgakov@mail.ru)
- SPIN: 5569-3057
AuthorID: 761852
ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры строительных материалов и технологий
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)
- SPIN: 7945-9399
AuthorID: 942955
ИШУТИН Андрей Александрович, аспирант кафедры теплогазоснабжения
Юго-Западный государственный университет (305040, Россия, Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: andrei11295@yandex.ru)
- SPIN: 2877-0785
AuthorID: 101166
АФОНИН Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления
- МОИСЕЕВ Владислав Валентинович**, аспирант кафедры строительных материалов и технологий
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68)

Аннотация. Предметом исследования являются прочностные показатели порошково-активированных бетонов и их повышение за счет армирования углеродными волокнами. Сущность метода испытания бетонов заключалась в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях. При проведении экспериментального исследования использовались бездобавочные цементы, на основе которых были сформированы два состава, в одном из которых в качестве заполнителя использовался только мелкий заполнитель (матрица №1), а во втором – мелкий и крупный (матрица №2).

Первая матрица для получения образцов порошково-активированного бетона была сформирована из следующих компонентов: портландцемент ПЦ-500 (ООО «Ульяновскцемент г. Ульяновск»), кварцевый песок Ичалковского месторождения (Республика Мордовия), фракции 0-0,63 мм кварцевый песок Храмцовского месторождения (Ивановская область), фракции 0,63-2,5 мм. Количественное содержание вяжущего и заполнителей в смесях было принято равным 1: 2,065 : 1,760.

В качестве второй матрицы для получения образцов-балок, армированных фиброволокнами использовался мелкозернистый бетон класса В20 (М250). Составляющие компоненты в бетонной смеси были выбраны в следующих количественных содержаниях: портландцемент ПЦ500 II/A-K марки М500 (ОАО «Осколцемент», г. Старый Оскол), песок строительный по ГОСТ 8736-93 (ООО «Керамзит НТ»), щебень фракции 5-20 мм по ГОСТ 8267-93 (ООО ТК «Технострой»). Количественное содержание цемента (Ц), песка (П) и щебня (Щ) было принято в следующем соотношении: 1:2,1:3,9.

Размер образцов при исследовании порошково-активированных бетонов составлял 40х40х160 мм, а при испытании дисперсно-армированных составов 150х150х600 мм. Испытания образцов проводились после истечения 28 суток твердения в нормальных температурно-влажностных условиях.

Ключевые слова: бетонная матрица, прочность, растяжение, изгиб, порошково-активированные бетоны, углеродное волокно, фибробетон

Для цитирования: Прочность на растяжение при изгибе бетонов нового поколения / А.Г. Булгаков, И.В. Ерофеева, А.А. Ишутин, В.В. Афонин, В.В. Моисеев // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 21-27. doi:10.51608/26867818_2022_2_21.



Original article

TENSILE STRENGTH DURING BENDING OF NEW GENERATION CONCRETE

© The Author(s) 2022 **BULGAKOV Aleksey Grigorievich**, Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Building Materials and Technologies
Southwestern State University
(305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October, 94)

EROFEEVA Irina Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, Department of Building Materials and Technologies
Mordovian State University N.P. Ogaryova
(430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)

ISHUTIN Andrey Alexandrovich, Post-graduate Student,
Department of Heat and Gas Supply
Southwestern State University
(305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October, 94, e-mail: andrei11295@yandex.ru)

AFONIN Viktor Vasilievich, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Automated Information Processing
and Control Systems

MOISEEV Vladislav Valentinovich, Post-Graduate Student
Department of Building Materials And Technologies
Mordovian State University N.P. Ogaryova
(430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68)

Annotation. The subject of the study is the strength indicators of powder-activated concretes and their increase due to carbon fiber reinforcement. The essence of the concrete testing method was to measure the minimum forces that destroy specially made control concrete samples when they are statically loaded with a constant rate of load increase, and then calculate the stresses during these efforts.

During the experimental study, additive-free cements were used, on the basis of which two compositions were formed, in one of which only a small filler (matrix No. 1) was used as a filler, and in the second – a small and large one (matrix No. 2).

The first matrix for obtaining samples of powder-activated concrete was formed from the following components: Portland cement PC-500 (LLC "Ulyanovsk cement, Ulyanovsk), quartz sand of the Ichalkovsky deposit (Republic of Mordovia), fractions 0-0.63 mm quartz sand of the Khramtsovsky deposit (Ivanovo region), fractions 0.63-2.5 mm. The quantitative content of the binder and fillers in the mixtures was assumed to be 1: 2,065 : 1,760.

Fine-grained concrete of class B20 (M250) was used as the second matrix for obtaining fiber-reinforced beam samples. The components in the concrete mixture were selected in the following quantitative contents: Portland cement PC500 II/A-K of the M500 brand (JSC "Oskolcement", Stary Oskol), construction sand according to GOST 8736-93 (LLC "Keramzit NT"), crushed stone fractions of 5-20 mm according to GOST 8267-93 (LLC TC "Technostroy"). The quantitative content of cement (C), sand (P) and crushed stone (Sh) was taken in the following ratio: 1:2.1:3.9.

The size of the samples in the study of powder-activated concrete was 40x40x160 mm, and in the testing of dispersed-reinforced compounds 150x150x600 mm. The samples were tested after 28 days of hardening in normal temperature and humidity conditions.

Keywords: concrete matrix, strength, tensile strength, bending, powder-activated concretes, fillers, carbon fiber, fiber concrete

For citation: Tensile strength during bending of new generation concrete / A.G. Bulgakov, I.V. Erofeeva, A.A. Ishutin, V.V. Afonin, V.V. Moiseev // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 21-27. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_21.

Введение. В мировой практике большое внимание уделяется повышению прочности бетона и снижению его себестоимости без потери несущей способности. Известны различные виды бетонов нового поколения: реакционно-активный, порошково-активированный, пониженной аутоценной усадкой, фиброармированный и др. [1-6]. Из изучения научно-технической литературы как российских, так и зарубежных авторов следует, что в настоящее время проводится большое количество исследований по установлению прочностных характеристик порошково-активированных бетонов с различными



наполнителями и фибробетонов, армированных различными волокнами. Основой создания высококачественных бетонов нового поколения служат гиперсуперпластификаторы в сочетании с новой рецептурой сухих компонентов, взаимно-усиливающих друг друга при превращении геля в золь. Присутствие микрокремнезема нанометрического масштабного уровня усиливает этот переход. Согласно Калашникову В.И. [4, 7], содержание тонкомолотых, реологически активных в смеси с цементом и суперпластификатором нового поколения наполнителей варьируется в пределах от 40 до 110 % увеличиваясь при уменьшении содержания цемента. В новой рецептуре должен присутствовать тонкий песок фракции 0,1-0,5-0,16-0,63мм, который в смеси с цементом и суперпластификатором усиливает реологическое действие последнего.

В последние годы на основе бетонов различных видов был создан фибробетон [8-12]. Применение фибробетонов в строительной отрасли с позиции ресурсосбережения и оптимизации состава бетона является актуальной задачей, т. к. фибра придает усиление физико-механических и других характеристик строительных материалов, благодаря которым существует возможность изменить их количественный состав. Дисперсное армирование позволяет эффективно повысить прочностные и улучшить деформационные характеристики бетона [16-20]. В качестве армирующих фибр применяют различные по составу, происхождению, геометрическим характеристикам и физико-механическим свойствам волокна (углеродное волокно, металлическая фибра, базальтовое волокно, полипропиленовое волокно и др.) [13-15].

Широкое применение находят при производстве фибробетонов углеродные волокна. Оптимальное процентное содержание фибры, которая положительно влияет на прочностные характеристики фибробетона варьируется в пределах от 0,2 % до 0,5 % от сухой массы связующего [13, 16]. Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований порошково-активированных бетонов и фибробетонов.

Значительный интерес представляют исследования направленные на установление влияния реологических и реакционных наполнителей на свойства порошковых бетонов. В то же время оптимальный состав фибробетона с углеродным волокном, который отвечает всем требованиям по прочности на сжатие и растяжение является также недостаточно установленным.

В связи с тем, что в Российской Федерации нет общих рекомендаций и нормативов по армированию и использованию фибробетона армированного углеродным волокном для изгибаемых строительных конструкций возникает сложность при приготовлении смеси строительного материала.

Цель работы – исследование прочности порошково-активированных бетонов и оптимизация процентного количества углеродной фибры в них для придания максимальной прочности на растяжение при изгибе.

Задачи исследований:

1. Установление влияния основных рецептурных факторов на прочность при сжатии и при изгибе порошково-активированных бетонов и фибробетонов.

2. Определение влияния углеродной фибры на прочность при изгибе фибробетонов.

Методика экспериментальной части и применяемые материалы для исследований. Сущность метода испытания бетонов на силовые нагрузки состояла в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях (ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам») [16, 17]. Методика испытания фибробетонных образцов на растяжение при изгибе включала в себя: подбор составляющих компонентов фибробетона; подбор оборудования для механического испытания образцов; технология и методику изготовления образцов; испытание образцов; обработку экспериментальных данных.

В зависимости от метода определения прочности бетона подбирались форма и оптимальные размеры образцов, которые должны соответствовать определенным параметрам. Прочностные свойства порошково-активированных бетонов определяли на образцах призмах размером 4x4x16см, а фиброармированных – 150x150x600 мм. Форма фиброармированных образцов для определения прочности на растяжение при изгибе представлена на рис. 1.



Рис. 1. Образцы фибробетонных балок

Несколько серий образцов, которые предназначались для определения прочностных характеристик бетона, изготавливались из одной пробы бетонной смеси, уплотняются и твердели в одинаковых условиях.

Образцы призмы размером 4x4x16см испытывали на прочность согласно ГОСТ 10180-2012. При



механическом испытании образец-призму из бетона устанавливали в пресс по схеме, приведенной на рис. 2, и нагружают до полного разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки ($0,05 \pm 0,01$) МПа/с (рис. 2).

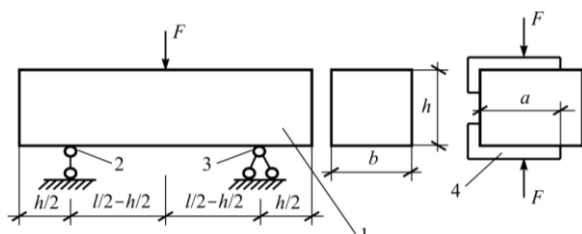


Рис. 2. Схема испытания на изгиб и сжатие образцов из порошково-активированного бетона:

a – длина накладки (6,25 см); b – ширина образца (4 см); h – высота образца (4 см); l – длина образца (16 см); 1 – образец; 2 – шарнирно-подвижная опора; 3 – шарнирно-неподвижная опора; 4 – металлическая пластина

При испытании образцов из фиброармированного бетона расстояние между опорами составляло 450 мм. Сосредоточенная нагрузка прикладывалась в третях пролета между осями опор, данное расстояние составляло 150 мм. Расстояние от торца балки до оси опоры – 75 мм с двух сторон. Расчетная схема испытания образцов представлена на рис. 3.

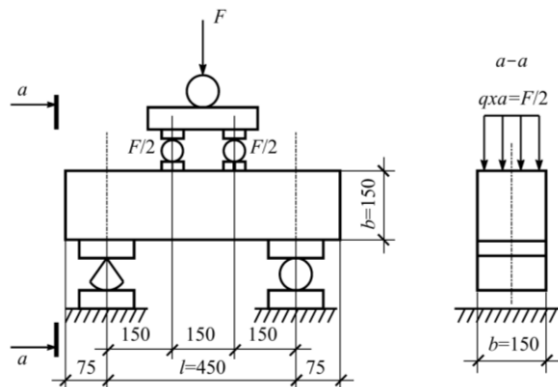


Рис. 3. Схема испытания образцов из фиброармированного бетона

Испытание образцов проводили по истечению 28 суток твердения в нормальных температурно-влажностных условиях. Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. Время нагружения образца до его разрушения составляло не менее 30 с. Испытание бетонных образцов изображено на рис. 4.

При проведении экспериментального исследования использовались два вида бездобавочного цемента, на основе которых были сформированы два состава, в одном из которых в качестве заполнителя использовался только мелкий заполнитель

(матрица № 1), а во втором – мелкий и крупный (матрица № 2). Составы исследуемых композитов по матрице № 1 приведены в табл. 1.



Рис. 4. Проведение экспериментальной части с использованием пресса Toni Technik 2078

Таблица 1 – Составы порошково-активированных бетонов для испытаний

Компоненты	Содержание массовых частей в составе			
	3	4	5	6
Портландцемент	1,000	1,000	1,000	1,000
Каменная мука	-	1,100	0,75	-
Микрокремнезем	-	-	0,120	0
Кварцевый наполнитель фракции 0-0,63 мм	-	2,753	1,775	2,065
Кварцевый наполнитель фракции 0,63-2,5 мм	-	2,347	1,875	1,760
Суперпластификатор	0,009	0,009	0,009	0,009
Вода	0,171	0,600	0,475	0,525

В качестве реакционно-химической добавки использовали микрокремнезем с удельной поверхностью $55000 \text{ см}^2/\text{г}$, а в качестве реологически активного дисперсного наполнителя - микрокварц с



удельной поверхностью 3450 см²/г. Оба вида наполнителя произведены на Липецком горно-обогатительном комбинате.

Для дисперсного армирования бетонов применяется углеродная фибра марки FibARMfiber С с длиной волокон – 6 мм. Углеродное волокно FibARMfiber С представляет собой углеродные нити, состоящие из тончайших углеродных волокон. В свою очередь углеродные волокна это наноструктурированный неорганический материал, содержащий 92-99,9 % углерода. Углеродные волокна получают путем ступенчатой термообработки волокон на основе полиакрилонитрила – ПАН, при температуре до 3200 °С .

Наши исследования показали, что превышение расхода фиброволокна более 5.0 кг/м³ (1.5 % от массы цемента) приводит к неоправданному удорожанию углефибробетона, без значимого увеличения прочности. При этом выявлено, что наибольшего эффекта можно добиться, используя углеродную фибру при ее введении в следующем процентном количестве – 0,3 % от массы цемента.

Прочность бетона на сжатие R, МПа, вычисляли с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w. \quad (1)$$

Прочность бетона на растяжение при изгибе R_{tb}, МПа, вычисляли с точностью до 0,01 МПа по формуле

$$R_{tb} = \delta \frac{Fl}{ab^2} K_w, \quad (2)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения образца, мм²; a, b, l – ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм; α, δ – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы; K_w – поправочный коэффициент, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

После испытания образцов проводилось статистическая обработка результатов эксперимента. При этом были определены: коэффициент вариации (V, показатель относительной изменчивости значения величины признаков у единиц совокупности, характеризующий ее однородность); среднее значение (χ); размах вариации (R, разница между максимумом и минимумом значений); среднее линейное отклонение (a); – дисперсия (D); – среднеквадратическое отклонение (σ, квадратный корень из дисперсии).

Ниже приведены формулы для расчета перечисленных показателей.

$$V = \frac{\sigma}{\chi} 100\%, \quad (3)$$

$$\chi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4)$$

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (5)$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \chi|, \quad (6)$$

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \chi)^2, \quad (7)$$

$$\sigma = +\sqrt{D}. \quad (8)$$

Результаты исследований и их анализ. Влияние тонкодисперсного кварца – микрокварца (состав №4) или смеси микрокварца с микрокремнеземом (состав №5) на свойства песчаного бетона изучали сравнением с контрольным составом №6, не содержащим тонкодисперсный кварц и микрокремнезем. Во всех исследуемых составах, помимо цемента и воды, применялись гиперпластификатор марки «Melflux 1641F» и двухфракционный кварцевый песок. Для обеспечения равноподвижности цементно-песчаного раствора водоцементное отношение контрольного состава было на 14 % ниже, чем у состава № 4 на микрокварце, и выше на 9,5 %, чем у состава № 5 на смеси микрокварца и микрокремнезема. Последнее объясняется пластифицирующим эффектом микрокварца. Результаты прочностных испытаний образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний порошково-активированных бетонов

Номер состава	ρ, кг/м ³	Предел прочности			
		на сжатие		при изгибе	
		R, МПа	отн. ед.	R _{tb} , МПа	отн. ед.
3	–	133	0,7	11,2	0,42
4	2300	103	2,06	9,84	1,63
5	2 270	110,5	2,25	11,87	1,97
6	2 100	50	1,00	6,02	1,00

Из табл. 2 следует, что применение тонкодисперсного кварца в составах песчаного бетона приводит к повышению прочностных показателей от 1,62 до 2,55 раза, что объясняется ростом плотности упаковки кварцевого заполнителя и находит подтверждение в увеличении плотности таких образцов на 9,5 %. В то же время уменьшение плотности на 1,3 % состава № 5 по отношению к составу № 4 не только не снизило прочностные показатели, но и привело к росту прочности на сжатие – на 9,1 %, Показатели у данного состава соизмеримы с показателями пластифицированного цементного камня (состав № 3).

Из табл. 2 следует, что введение тонкодисперсного кварца в виде микрокварца (молотого песка) и микрокремнезема (аморфная форма с удельной поверхностью 50000 см²/г) оказало существенное влияние на прочность песчаного бетона при изгибе (табл. 2): добавка микрокварца (состав № 4) привела к увеличению прочностив 1,7 раза, а сов-



местно микрокварца и микрокремнезема (состав № 5) – в 2 раза. Использование тонкодисперсного кварца повлияло и на характер деформирования образцов – повысилась их упругость от 1,3 до 1,7 раза, но при этом на 20 % снизилась величина предельных деформаций, т.е. образцы песчаного бетона становятся более упругими и менее деформативными, что согласуется с общими представлениями о повышении хрупкости цементных образцов с повышением их прочности [23]. Исследованиями также установлено, что применение тонкодисперсного кварца существенно – от 1,3 до 5,8 раза повышает параметры трещиностойкости песчаного бетона.

Одним из эффективных способов повышения прочности бетонов, в том числе при изгибе, является введение в их состав дисперсной арматуры. Результаты разрушения образцов серии 1 из обычного бетона (без добавления фибры) и серии 2 (с добавкой фибры), представлены на рис. 5.

% от сухой массы цемента на весь объем раствора. Опираясь на изученную наших данных и научно-техническую литературу, можно сделать вывод, что при добавлении фибры более 0,4 % от массы цемента прочность бетона при растяжении практически не изменится, а в некоторых случаях уменьшается. На основании проведенного эксперимента можно предложить рекомендовать использовать данные фибробетонов в строительстве при изготовлении ответственных конструкций.

Выводы. Установлено, что введение тонкодисперсного кварца и микрокремнезема в состав песчаного бетона привело к росту прочности при сжатии и изгибе от 1,62 до 2,55 раза. Выявлено, также что бетон, армированный углеродной фиброй (0,3 % от сухой массы цемента на весь объем раствора), превосходит по прочности на растяжение при изгибе обычный бетон примерно в 1,4 раза. Прочность наполненных составов оказалась соизмеримой с прочностью цементного камня.

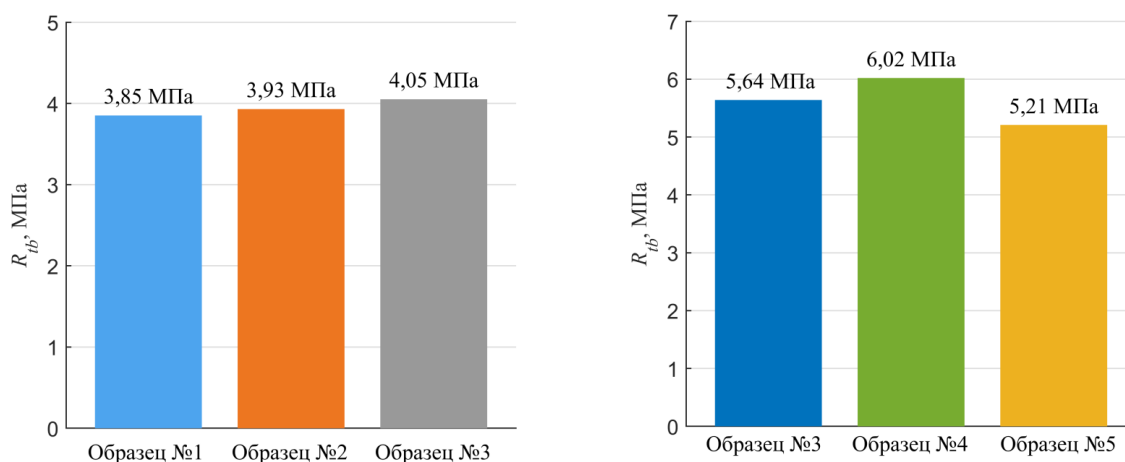


Рис. 5. Прочность образцов 1-й (слева) и 2-й (справа) серии на растяжение при изгибе

Наглядное изображение влияния процентного содержания фибры на прочностные характеристики бетона показаны на рис. 6.

Бетон, армированный углеродной фиброй, превосходит по прочности на растяжение при изгибе обычный бетон примерно в 1,4 раза. Углеродная

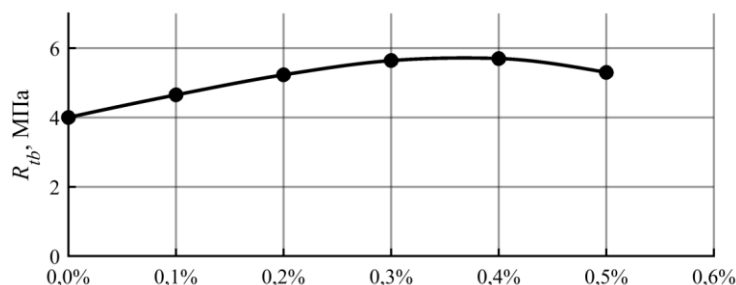


Рис. 6. Зависимость прочности фибробетона от процентного содержания фибры

Проанализировав данные испытаний, можно сделать вывод, что бетон, армированный углеродной фиброй, превосходит по прочности на растяжение при изгибе обычный бетон примерно в 1,4 раза. В этом случае содержание углеродного волокна составляло – 0,3

фибра при ее использовании в составе бетона служит для полного предотвращения появления усадочных трещин как в процессе твердения бетона, так и в дальнейшем, делая бетон более долговечным, ударопрочным и морозостойким. При армировании бе-



тонных мелкоштучных декоративных изделий углеродной фиброй практически до нуля снижается процент брака вызванный усадочными микротрещинами и связанный с повреждением при извлечении изделия из формы.

Полученные результаты исследования позволяют рекомендовать фибробетоны для использования в конструкциях, подверженных воздействию изгибающих нагрузок.

Список источников

1. Травуш, В.И. Циклическая прочность бетонов нового поколения / В.И. Травуш, Н.И. Карпенко, В.Т. Ерофеев, И.В. Ерофеева [и др.] // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 88-94.

2. Ерофеев, В.Т. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, В.А. Федорцов // Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С. 51-60.

3. Ерофеев, В.Т. Интеллектуальные композиты и их использование для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6, № 4. С. 11.

4. Калашников, В.И. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 4 (688). С. 30-37.

5. Ерофеев, В.Т. Ударная прочность цементных композитов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 4. С. 89-94.

6. Шарафутдинов, К.Б. Изучение эффективности суперабсорбирующей полимерной добавки для уменьшения аутогенной усадки бетона без снижения его прочности / К.Б. Шарафутдинов [и др.] // Строительные материалы. 2021. № 12. С. 61-68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-00-00>.

7. Калашников, В.И. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников [и др.] // Молодой ученый. 2014. № 19 (78). С. 207-210.

8. Белов, Н.Н. Расчет прочности фибробетонных плит на высокоскоростной удар / Н.Н. Белов, В.Т. Ерофеев, Н.Т. Югов [и др.] // Приволжский научный журнал. 2017. № 2 (42). С. 34-41.

9. СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования» – Введ. 2017-10-18. М.: Стандартинформ, 2017.

10. Holschemacher K. Grundlagendes Faserbetons / K. Holschemacher, F. Dehn, F. Lobisch // Betonkalender. Berlin, 2017. Pp. 384-472.

11. Войлоков, И.А. Фибробетон – история вопроса. Нормативная база, проблемы и решения / ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2009. №2. С. 44-53.

12. Калашников, В.И. Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково-активированные песчаные бетоны и фибробетоны / В.И. Калашников, В.М. Володин, И.В. Ерофеева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 110. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20136>.

13. Дроков, А.В. Исследование влияния многослойных углеродных нанотрубок на прочностные характеристики фибробетонов / А.В. Дроков, В.Л. Курбатов // Электронный сборник докладов: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород, 2016. С. 710-715.

14. Соловьева, Т.А. Оценка возможности использования отходов углеволокна в качестве армирующего элемента цементных композиций / Т.А. Соловьева, Т.К. Акчурин, О.Ю. Пушкарская // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: стр-во и архит. Волгоград, 2013. Вып. 30 (49). С. 197-200.

15. Schladitz, F. Carbon Concrete composite / F. Schladitz, M. Curbach, K. Holschemacher // Neue Herausforderungen im Betonbau. Berlin, 2017. Pp. 121-138.

16. Дроков, А.В. Исследование влияния многослойных углеродных нанотрубок на прочностные характеристики фибробетонов, изготовленных с применением сырья Северного Кавказа / А.В. Дроков // Вестник БГТУ. Белгород, 2017. №2. С. 13-17.

17. Зулпуев, А.М. Работа железобетонных конструкций с фибровым армированием / А.М. Зулпуев, К.Темикеев, А.М. Ганыев [и др.] // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. №1. С. 188-194.

18. Кудяков, А.И. Технология и состав углеродифибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей / А.И. Кудяков [и др.] // Вопросы материаловедения. 2016. № 1 (85). С. 66-72.

19. Ахмеднабиев Р.М. Влияние различных волокон на свойства фибробетонов «Технические науки – от теории к практике»: материалы 22 международной заочной научно-практической конференции. (11 июня 2013 г.). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. С. 34-43.

20. Буторов И.А. Анализ прочности композиционных материалов, армированных дискретными волокнами // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 8-1 (52). С. 55-59.

21. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2018.

22. ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности» - Введ. 1980-01-01. М.: Стандартинформ, 2018.

23. Ерофеева И.В. Физико-механические свойства, биологическая и климатическая стойкость порошково-активированных бетонов. - Пенза, 2018. 28 с.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Научная статья

УДК 624.03

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_2_28

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОГО МАТЕРИАЛА МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ НАГРУЖЕНИЙ

© Автор 2022

SPIN: 6657-0301

AuthorID: 1131557

ГОРБАЧЕВА Ольга Александровна, инженер научно-исследовательской группы
НИИСФ РААСН, ассистент кафедры «Строительные материалы, конструкции
и технологии»

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
(410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, 77,
e-mail: olga12zakirova@inbox.ru)*

Аннотация. Статья посвящена способам повышения точности решения задач нелинейной строительной механики. На примере расчета балки из нелинейно-упругого материала показано, что модифицированный метод последовательных нагружений позволяет повысить точность решения и уменьшить трудоемкость получения результатов. Решение полученных линейных уравнений было найдено методом Бубнова-Галеркина.

Ключевые слова: физическая нелинейность, метод последовательных нагружений, модифицированный метод, метод Ньютона-Канторовича, сходимость решения, диаграмма деформирования, кривая состояния

Для цитирования: Горбачева О.А. Расчет конструкций из нелинейно-упругого материала модифицированным методом последовательных нагружений // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 28-31. doi:10.51608/26867818_2022_2_28.

Original article

CALCULATION OF STRUCTURES MADE OF NONLINEAR ELASTIC MATERIAL BY THE MODIFIED METHOD OF SEQUENTIAL LOAD

© The Author(s) 2022

GORBACHEVA Olga Alexandrovna, engineer of the research group
at the Research Institute of the Russian Academy of Sciences, assistant
of the department «Building materials, structures and technologies»
*Saratov State Technical University Gagarina Yu.A.
(410054, Russia, Saratov, Politekhnikeskaya st., 77,
e-mail: olga12zakirova@inbox.ru)*

Annotation. The article considers ways to improve the accuracy of solving problems of nonlinear structural mechanics. Using the example of calculation is a beam from a physically nonlinear material, it is shown that the modified method of sequential loading makes it possible to increase the accuracy of the solution and reduce the complexity of obtaining results. The solution of the obtained linear equations is found with the help of the Bubnov-Galerkin variational method.

Keywords: physical nonlinearity, sequential loading method, modified method, Newton-Kantorovich method, convergence of the solution, deformation diagram, state curve

For citation: Gorbacheva O.A. Calculation of structures made of nonlinear elastic material by the modified method of sequential load // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 28-31. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_28.

При решении нелинейных задач строительной механики применяются приближенные методы, при реализации которых возникают проблемы достижения быстрой сходимости полученных резуль-

татов [1-5]. Для исследования прочности и устойчивости конструкции необходимо иметь кривую деформирования «нагрузка-прогиб». Для ее получения удобно использовать метод последовательных



нагружений, однако при применении этого метода для получения решения с заданной точностью необходимо делить нагрузку на большое количество слоев [6,7], что сопровождается повышенными трудозатратами. Высокую точность решения при фиксированной нагрузке можно получить, применяя метод Ньютона-Канторовича [8], который сходится к точному решению со скоростью геометрической прогрессии, но для построения зависимости «нагрузка-прогиб» потребуются большие трудозатраты для получения решений при необходимом числе фиксированных значений нагрузки. В работах В.В. Петрова [7,9] предложен модифицированный метод построения зависимости «нагрузка-прогиб», где результаты, полученные методом последовательных нагружений, являются носителями нулевых приближений метода Ньютона-Канторовича. Такой выбор «хорошего» нулевого приближения позволяет построить зависимость «нагрузка-прогиб», с заданной точностью и меньшими трудозатратами.

В качестве примера рассмотрим задачу изгиба балки, выполненной из физически нелинейного материала. Для применения метода последовательных нагружений (МПН) рассмотрим дифференциальное уравнение изгиба балки в инкрементальной форме и в безразмерном виде [6]

$$\frac{d^2}{d\xi^2} \left(J_{k\xi} (u(\xi)) \frac{d^2 \Delta u}{d\xi^2} \right) = \Delta p(\xi), \quad (1)$$

где $\xi = x/l$ – безразмерная координата (l – длина балки), $u(\xi) = W/h$ – безразмерный прогиб (W – прогиб, h – высота прямоугольного сечения балки), $\Delta u(\xi) = \Delta W/h$ – приращение безразмерного прогиба, $\Delta p(\xi) = q_0/EI_0$ – приращение безразмерной равномерно распределенной поперечной нагрузки (q_0 – модуль упругости, EI_0 – осевой момент инерции сечения балки), $J_k(u(\xi)) = J_k(W)/EI_0$ – безразмерная переменная жесткость балки, зависящая от касательного модуля

$$J_k = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} z^2 b(z) dz \quad (2)$$

Экспериментальную диаграмму деформирования материала балки $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ аппроксимируем подходящим аналитическим выражением. Рассмотрим три варианта аппроксимации диаграммы деформирования сплава алюминия: в виде кубической параболы $\sigma_i(\varepsilon_i) = E\varepsilon_i - m\varepsilon_i^3$; неполного полинома 5-ой степени $\sigma_i(\varepsilon_i) = E\varepsilon_i - m_1\varepsilon_i^3 + m_2\varepsilon_i^5$; неполного полинома 9-ой степени $\sigma_i(\varepsilon_i) = E\varepsilon_i - m_1\varepsilon_i^3 + m_2\varepsilon_i^5 + m_3\varepsilon_i^7 + m_4\varepsilon_i^9$. Коэффициенты этих функций были найдены из условий прохождения полиномов через характерные точки экспери-

ментальной диаграммы деформирования [10]. На рис. 1 приведены результаты аппроксимации.

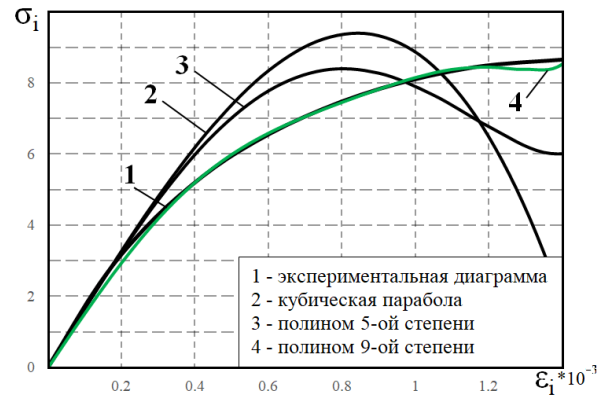


Рис. 1

По результатам аппроксимации диаграммы деформирования, далее используется полином 9-ой степени, который более точно аппроксимирует экспериментальную кривую. Касательный модуль определим по формуле:

$$E_k = \frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} = E - 3m_1z^2(W'')^2 + 5m_2z^4(W'')^4 + 7m_3z^6(W'')^6 + 9m_4z^8(W'')^8 \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), и выражая деформации через прогиб получим выражение жесткости в безразмерном виде:

$$J_{k\xi}(u) = 1 - \frac{9\gamma_1\beta^4}{20}(u'')^2 + \frac{15\gamma_2\beta^8}{112}(u'')^4 + \frac{7\gamma_3\beta^{12}}{192}(u'')^6 + \frac{27\gamma_4\beta^{16}}{2816}(u'')^8 \quad (4)$$

где $\gamma_1 = m_1/E$, $\gamma_2 = m_2/E$, $\gamma_3 = m_3/E$, $\gamma_4 = m_4/E$ – безразмерные коэффициенты, $\beta = h/l$ – безразмерная длина балки.

Решение линейного уравнения (1) с известными переменными коэффициентами (4) при заданных граничных условиях будем искать методом Бубнова-Галеркина. В первом приближении прогиб и приращение прогиба балки ищем в виде:

$$u = K\varphi(\xi), \quad \Delta u = \Delta K\varphi(\xi) \quad (5)$$

где ΔK – обобщенная координата, а $\varphi(\xi)$ – аппроксимирующая функция, которая должна удовлетворять заданным граничным условиям. Эту функцию строим статическим методом В.З. Власова в виде прогиба балки из упругого материала. В результате получим аппроксимирующую функцию

$$\varphi(\xi) = 2\xi^4 - 3\xi^3 + \xi \quad (6)$$

Применяя к уравнению (1) метод Бубнова-Галеркина в первом приближении, после интегрирования и необходимых преобразований, получим линейное алгебраическое уравнение:

$$\Delta K (f_1 - 3f_2K^2 + 15f_3K^4 + 7f_4K^6 + 27f_5K^8) = \Delta Q, \quad (7)$$



коэффициенты которого определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \int_0^1 \varphi^{IV} \varphi d\xi, \quad f_2 = \frac{3}{20} \gamma_1 \beta^4 \int_0^1 \varphi'' \varphi \left(\varphi'' \varphi^{IV} + 2(\varphi''')^2 \right) d\xi, \\
 f_3 &= \frac{5}{112} \gamma_2 \beta^8 \int_0^1 (\varphi'')^3 \varphi \left(\varphi'' \varphi^{IV} + 4(\varphi''')^2 \right) d\xi, \\
 f_4 &= \frac{7}{192} \gamma_3 \beta^{12} \int_0^1 (\varphi'')^5 \varphi \left(\varphi'' \varphi^{IV} + 6(\varphi''')^2 \right) d\xi, \quad (8) \\
 f_5 &= \frac{9}{2816} \gamma_4 \beta^{16} \int_0^1 (\varphi'')^7 \varphi \left(\varphi'' \varphi^{IV} + 8(\varphi''')^2 \right) d\xi, \\
 \Delta Q &= \int_0^1 \varphi \Delta p(\xi) d\xi,
 \end{aligned}$$

Решение уравнения (7) имеет вид

$$\Delta K_j = \frac{\Delta Q_j}{f_1 - 3f_2 K_{j-1}^2 + 15f_3 K_{j-1}^4 + 7f_4 K_{j-1}^6 + 27f_5 K_{j-1}^8}, \quad (9)$$

(j=0, 1, 2, 3, ...)

где индекс j обозначает номер последовательного нагружения

При расчете МПН прогиб в центре балки при фиксированной нагрузке составил: при 3 ступенях нагружения – $32,5 \times 10^{-3}$, при 6 ступенях нагружения – $34,1 \times 10^{-3}$, при 12 ступенях нагружения – $35,2 \times 10^{-3}$ и $35,8 \times 10^{-3}$ при 24 ступенях нагружения. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при уменьшении величины ступени нагружения (соответственно увеличению количества ступеней нагружения) точность решения повышается. Но сходимость решения медленная и для ее повышения необходимо существенно уменьшать величину ступени нагружения.

Для улучшения сходимости и получения более точного решения используем модифицированный метод последовательных нагружений, суть которого заключается в применении метода Ньютона-Канторовича на каждом этапе нагружения МПН.

Уравнение Ньютона-Канторовича в безразмерной форме имеет вид:

$$\frac{d^2}{d\xi^2} \left[J_{k\xi}(u_{n-1}) \frac{d^2 \Delta u_n}{d\xi^2} \right] = p(\xi) - \frac{d^2}{d\xi^2} \left[J_{c\xi}(u_{n-1}) \frac{d^2 u_n}{d\xi^2} \right], \quad (10)$$

где переменная жесткость при аппроксимации диаграммы деформирования полиномом 9-ой степени в безразмерном виде

$$\begin{aligned}
 J_{k\xi}(u_{n-1}) &= 1 - \frac{9\gamma_1 \beta^4}{20} (u_{n-1}^{II})^2 + \frac{15\gamma_2 \beta^8}{112} (u_{n-1}^{II})^4 + \\
 &+ \frac{7\gamma_3 \beta^{12}}{192} (u_{n-1}^{II})^6 + \frac{27\gamma_4 \beta^{16}}{2816} (u_{n-1}^{II})^8 \quad (11)
 \end{aligned}$$

содержит касательный модуль E_k , а переменная жесткость

$$\begin{aligned}
 J_{c\xi}(u_{n-1}) &= 1 - \frac{3\gamma_1 \beta^4}{20} (u_{n-1}^{II})^2 + \frac{3\gamma_2 \beta^8}{112} (u_{n-1}^{II})^4 + \\
 &+ \frac{\gamma_3 \beta^{12}}{192} (u_{n-1}^{II})^6 + \frac{3\gamma_4 \beta^{16}}{2816} (u_{n-1}^{II})^8 \quad (12)
 \end{aligned}$$

содержит секущий модуль E_c . Здесь $u_n = u_{n-1} + \Delta u_n$.

Дифференциальное уравнение (10) линейное, но содержит переменные коэффициенты и громоздкую правую часть. Для получения рекуррентной формулы, позволяющей уточнять нулевое приближение метода Ньютона-Канторовича, применим к уравнению (10) метод Бубнова-Галеркина в первом приближении. Приращение прогиба на каждой итерации будем искать в виде $\Delta u_n = \Delta K_n \varphi(\xi)$, суммарный прогиб обозначим $u_n = K_n \varphi(\xi)$. Аппроксимирующую функцию выбираем в виде (6), которая не изменяется в процессе итераций. После необходимых преобразований получим линейное алгебраическое уравнение, решение которого имеет вид

$$\Delta K_n = \frac{Q - f_1 K_{n-1} + 3f_2 K_{n-1}^3 - 3f_3 K_{n-1}^5 - f_4 K_{n-1}^7 - 3f_5 K_{n-1}^9}{f_1 - 3f_2 K_{j-1}^2 + 15f_3 K_{j-1}^4 + 7f_4 K_{j-1}^6 + 27f_5 K_{j-1}^8}, \quad (13)$$

Коэффициенты в (13) по-прежнему определяются по формулам (8).

На рис. 2 представлены зависимости прогиба в центре балки от величины нагрузки. Прямая 1 соответствует закону Гука, кривая 2 получена МПН при 3 ступенях нагружений, а кривая 3 получена ММПН при 3 ступенях нагружения с уточнением на каждом этапе нагружения. Уточнение прогиба в центре балки модифицированным методом составило 20,7% от линейного решения и 11,2% от МПН при трех ступенях нагружения.

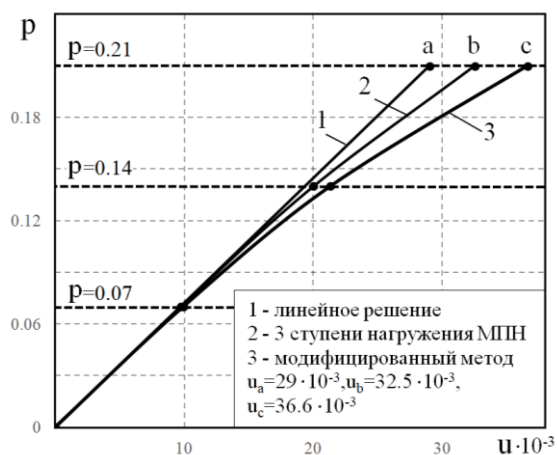


Рис. 2

На рис. 3 представлены прогибы в середине пролета балки в зависимости от величины приложенной нагрузки. Результаты получены МНК с выбором нулевого приближения на прямой (закон Гука) и ММПН с уточнением на каждой ступени нагружения.

Для построения кривой «нагрузка-прогиб» МНК необходимо иметь результаты решения при нескольких значениях нагрузки, при этом для каждой нагрузки решение приходится искать с 2 – 3 уточнениями. При построении кривой ММПН на каждой ступени нагружения достаточно одного уточнения.

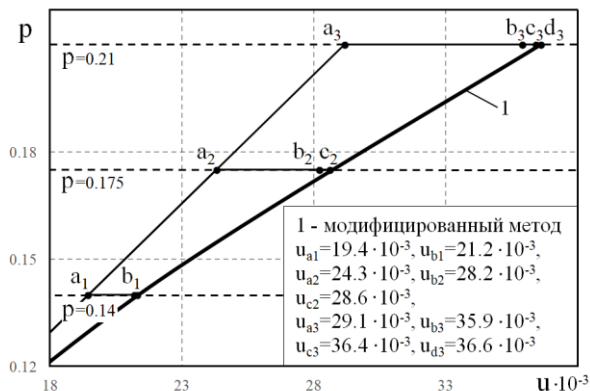


Рис. 3

Таким образом, можно сделать вывод, что при одинаковом числе ступеней нагружения (3 слоя) модифицированный метод увеличивает точность решения и имеет более высокую сходимость по сравнению с методом последовательных нагружений. При этом для получения решения и построения кривой состояния «нагрузка-прогиб» модифицированным методом требуется меньше трудозатрат, чем при решении задачи методом Ньютона-Канторовича и методом последовательных нагружений.

Список источников

1. Наумов А.М. Применение метода последовательных нагружений при решении задач механики плоских

стержней // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. №12. С. 33 – 42.

2. Rashidinia J. Finite difference methods for a class of two-point boundary value problems. IUST International Journal of Engineering Science, 2008, vol. 19, no. 5–2, pp. 67–72.

3. Dinkar Sharma, Ram Jiwar, Sheo Kumar. Numerical Solution of Two Point Boundary Value Problems Using Galerkin-Finite Element Method. International Journal of Nonlinear Science, 2012, vol. 13, no. 2, pp. 204–210.

4. Borse K.N., Dubey S. Geometric Linear and Nonlinear Analysis of Beam. International Journal of Engineering Research & Technology, 2013, no. 2 (7), pp. 415–423.

5. Кузнецов В.Н., Кузнецова Т.А., Чумакова С.В. Операторные методы в нелинейной механике // Исследования по алгебре, теории чисел, функциональному анализу и смежным вопросам. 2003. №2. С. 70 – 80.

6. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / Петров В.В. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. 480 с.

7. Петров В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975.

8. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. – М.: Наука, 1977.

9. Петров В.В. Решение нелинейных задач строительной механики модифицированным методом последовательных нагружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. №17(4). С. 146 – 152.

10. Селяев, В.П. Влияние вида функциональной зависимости "σ - ε" на расчетные прогибы балки из нелинейно деформируемого / В.П. Селяев [и др.] // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1(16). С. 46-54.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Обзорная статья
УДК 691 : 347.77
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2022_2_32

ОБЗОР ПАТЕНТОВ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ИЗДЕЛИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ФИБРОБЕТОНА

© Авторы 2022
SPIN: 4425-5045
AuthorID: 161483
ORCID: 0000-0001-8407-8144
ScopusID: 56662851300
ResearcherID: A-7827-2017

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, Россия, Саранск, ул. Большевистская, 68, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

SPIN: 9213-4861
AuthorID: 800708
ORCID: 0000-0001-8517-5958
ResearcherID: AAQ-9234-2021

КРЕТОВ Дмитрий Александрович, ассистент кафедры «Железобетонные конструкции»
Самарский государственный технический университет (443100, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, e-mail: kretdima@rambler.ru)

Аннотация. Приведен обзор ряда патентов по производству железобетонных изделий методом твердения бетона под давлением при изготовлении железобетонных изделий и конструкций из фибробетона. Цель работы – рассмотрение запатентованных изобретений, в которых достигнут технический результат по улучшению технико-экономических характеристик изделий, экономии ресурсов, снижению трудоемкости и сроков выполнения работ, облегчению технологии производства. Основными источниками для анализа послужили открытые электронные информационные данные Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: строительная отрасль, фибра, фибробетон, патент, инновационное строительство, пресс-форма

Для цитирования: Ерофеев В.Т., Кретов Д.А. Обзор патентов по изготовлению изделий под давлением из высокопрочного фибробетона // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 32-35. doi:10.51608/26867818_2022_2_32.

Review article

PATENT REVIEW OF HIGH-STRENGTH FIBRO-CONCRETE PRODUCTS MADE UNDER PRESSURE

© The Author(s) 2022

EROFEEV Vladimir Trofimovich, Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Technologies
Mordovian State University N.P. Ogaryova (430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

KRETOV Dmitry Alexandrovich, assistant of the department «Reinforced concrete structures»
Samara State Technical University (443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244, e-mail: kretdima@rambler.ru)

Annotation. A review of several patents on the production of reinforced concrete products by hardening concrete under pressure in the manufacture of reinforced concrete products and fibro-concrete constructions. The aim of the work is to consider patented inventions, which achieve the technical result of improving the technical and economic characteristics of products, saving resources, reducing the labour intensity and time of work, simplifying production technology. The main source for the analysis was the open electronic information dataset of the Federal Intellectual Property Service.

Keywords: construction industry, fibro, fibro-concrete, patent, innovative construction, mold



For citation: Erofeev V.T., Kretov D.A. Patent review of high-strength fibro-concrete products made under pressure // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 32-35. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_32.

Введение. На текущем этапе развития строительной отрасли, вследствие усложнения условий эксплуатации зданий и сооружений, повысились требования к строительным материалам и конструкциям, в первую очередь к бетонам, фибробетонам и бетонам твердеющим под давлением: наряду с повышением прочности бетона на сжатие, актуальными стали более высокие значения трещиностойкости, ударной вязкости, деформационных свойств, в том числе контроль качества материалов и конструкций.

Основной тренд данных требований сводится к уменьшению себестоимости строительства, облегчению технологии производства, экономии ресурсов, долговечности объектов капитального строительства, в том числе при последующей эксплуатации зданий и сооружений.

По исследуемой теме известны следующие изобретения различных групп авторов: «Способ приготовления фибробетонной смеси» [1], «Пресс-форма для изготовления бетонных и железобетонных изделий» [2], «Способ изготовления фиброцементных композиций» [3], «Пресс-форма для изготовления бетонных и железобетонных изделий и механизм бокового обжатия» [4], «Способ изготовления изделий под давлением из высокопрочного фибробетона» [5]. Однако, проведенный анализ зарегистрированных российских патентов выявил дефицит исследований по заявленной теме.

Обсуждение темы. Рассматриваемое решение относится к производству железобетонных изделий методом твердения бетона под давлением и может использоваться в области дорожно-мостового и аэродромного строительства, при производстве железобетонных изделий и конструкций из высокопрочного фибробетона под давлением, например: мостовые покрытия, берегозащитные полосы, шпалы, фундаменты, тоннели, каркасы конструкций, монолитные сооружения, взлетно-посадочные полосы, тротуары, тротуарная и дорожная плитка, бордюрный материал, каналы для водоотвода и др.

Работа пресс-формы [2], в которой использован способ вибрационного прессования изделий, происходит следующим образом: в подготовленную внутри опалубочную полость устанавливается арматурный каркас изделия, затем внутри опалубочную полость замыкают формообразующей поверхностью пуансона, далее в опалубочную полость подается бетонная смесь и уплотняется навесным вибратором, потом загрузочное отверстие герметизируется и бетонная смесь подвергается давлению в течение 10-15 минут, после отключения пресса бетонная смесь, уплотненная и отжатая от излишков влаги, остается

под избыточным давлением и набирает твердость, прогреваемая за счет подачи теплоносителя, по готовности изделие разъединяется с прессующей поверхностью и вынимается из пресс-формы.

При данном способе получения изделий, обладающих достаточной прочностью, происходит значительный расход арматуры, увеличение трудоемкости и сроков изготовления, что значительно понижает уровень конкурентоспособности изобретения.

Процесс изготовления изделия в соответствии с патентом [4] производят следующим образом: в полость опалубки подготовленной пресс-формы устанавливают (при необходимости) арматуру и укладывают бетонную смесь, далее на установленную крышку с монтажными элементами создается усилие прессом и элементы подвижной опалубки, перемещаясь относительно силовой рамы, производят смятие эластичных вкладышей и обжатие бетонной смеси. При достижении необходимого уплотнения бетона крышка фиксируется на силовой раме с помощью откидных болтов. После набора бетоном соответствующей прочности откидные болты раскручиваются, изделие освобождается от избыточного давления, а затем крышка снимается с силовой рамы.

При достаточно высокой экономичности изготовления изделий данным способом, прочностные характеристики не дают возможности их использования в дорожных и мостовых покрытиях, взлетно-посадочных полосах и т.д.

Целью следующего рассматриваемого изобретения [5] было создание такого технологического процесса, который повышал технические характеристики изделий, при этом уменьшая себестоимость за счет сокращения расходов арматуры, трудоемкости и сроков выполнения работ.

Решение поставленной задачи достигается тем, что бетонную смесь перед укладкой в пресс-форму наполняют волокнами фибры. Уложенная в пресс-форму бетонная смесь (фибробетон) выдерживается под давлением не менее 2,5 МПа до набора распалубочной прочности, но не менее 240 мин., твердеющая масса прогревается теплоносителем, поданным в полости пресс-формы, до температуры не более 80°C (температура теплоносителя не должна превышать 95°C, а скорость повышения температуры не более 35°C в час) [5].

Включение различных вариантов фибры в состав бетона производят с целью повышения морозостойкости, трещиностойкости бетона при усадке и циклических воздействиях (сопротивление ударам, истиранию и разрушению). При этом исследователи



отмечают, что «важнейшая проблема фибробетона и фиброжелезобетона выражается в создании равномерного (агрегированного) разделения волокон по объему или длине элемента» [6].

Положительный результат от использования предлагаемого изобретения заключается в улучшении эксплуатационных характеристик изделий, а именно: применение в бетонной смеси волокон фибры (металлической и неметаллической), соблюдение технологического процесса, в том числе температурного режима, твердения фибробетона под давлением дало положительный результат в улучшении эксплуатационных характеристик изделий – до 30% повысилась прочность, возросла стойкость к физическим нагрузкам, минимизировалось образование усадочных трещин.

Бетонную смесь наполняют металлическими и неметаллическими волокнами фибры, применяемые с целью повышения технических характеристик (в первую очередь – прочности) бетонного раствора. Структура полученного фибробетона представляет собой однородную конструкцию, которая пронизана волокнами, создающими эффект армирования.

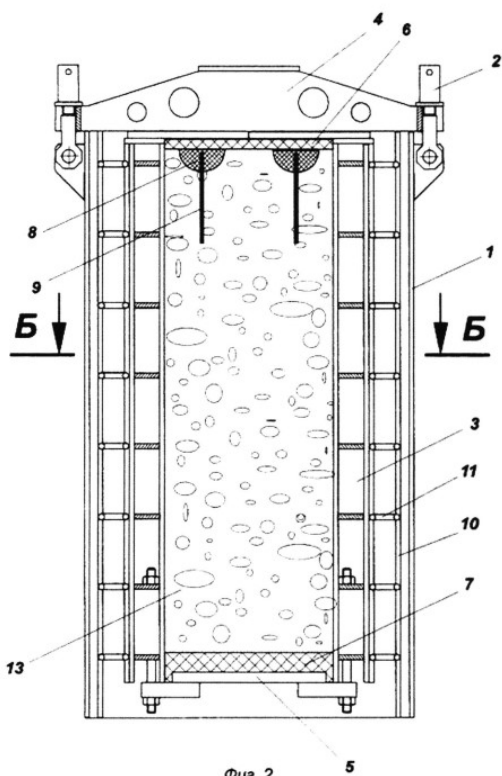


Рис. 1. Фигура 2: общий вид, вертикальный разрез, пресс-форма после ее заполнения и приложения давления [5]:

- 1 - силовая рама, 2 - откидные болты, 3 - подвижная опалубка, 4 - крышка, 5 - днище, 6 - верхнее резиновое уплотнение, 7 - нижнее резиновое уплотнение, 8 - упругие полусферы, 9 - монтажные элементы, 10 - парные рейки, 11 - распорки, 13 - полость для фибробетона

Необходимо отдельно отметить: фибробетон со стальным наполнителем не теряет свойства под действием низких температур, влаги и огня.

При ряде преимуществ полученный фибробетон имеет один недостаток - высокая стоимость, если сравнивать с обычным бетонным раствором. Однако, этот недостаток легко компенсируется долговечностью стройматериала и его повышенной стойкостью к износу, что способствует его применению в конструкциях (промышленного и бытового характера) с сильным агрессивным воздействием окружающей среды.

Так, например, А.В. Боровков и С.В. Овчинникова на основе приведенных расчетов пишут, что фибробетон, «несмотря на высокую себестоимость, за счет высоких физико - механических свойств довольно популярен и очень часто применяется в строительстве для заливки фундаментов промышленных зданий под оборудование. Долговечность материала компенсирует высокую стоимость данного фибробетона» [7].

Николенко С.Д., Сазонова С.А., Звягинцева А.В., приводя результаты проведенных исследований, делают вывод [8]: «...при сравнении уровней трещиностойкости железобетонных конструкций и конструкций из фибробетона, преимущество по указанному параметру принадлежит последним», т.к. «дисперсное армирование фибробетона. способствует более равномерному распределению усилий внутри массива конструкции».

После проведения исследования напряженно-деформированного состояния тяжелых и облегченных бетонов, построения диаграмм напряжений – деформаций и их анализа авторский коллектив приходит к следующему заключению: «фибробетон способен испытывать наибольшие деформации при нагрузке ввиду того, что при помощи рецептурных и технологических факторов меняются его свойства и как следствие характер разрушения – становится более вязким» [9].

При внедрении фибробетона необходимо уделить пристальное внимание соблюдению оптимального режима прогрева бетона - до 80°C с временем подъема 240 мин., который удовлетворяет необходимым темпам изготовления изделий, т.к. при большей температуре влага интенсивно испаряется, что отрицательно влияет на качество.

Конструктивное решение предлагаемой пресс-формы позволяет создавать объемное обжатие бетонной смеси в результате поступательного движения подвижной опалубки относительно силовой рамы с увеличением доли бокового обжатия в конце прессования при применении поворачивающихся распорок. Соотношение бокового обжатия и продольного усилия регламентируется заранее путем установки определенного наклона распорок.

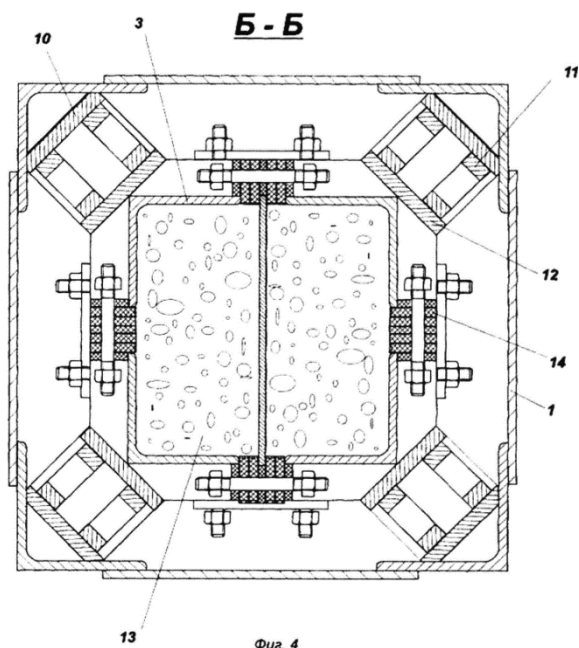


Рис. 2. Фигура 4: горизонтальный разрез Б-Б на фиг. 2, пресс-форма после ее заполнения и приложения давления [5]:

1 - силовая рама, 3- подвижная опалубка, 10 - парные рейки, 11 - распорки, 12 – рейки, 13 – полость для фибробетона, 14 - эластичные вкладыши

В отличие от известных решений, где создание бокового усилия на смесь обеспечивается или с помощью гидравлической камеры, или с помощью клинового эффекта, конструктивное решение предлагаемой оснастки более экономично, технологично и улучшает качество изделия [5].

Выводы. Предложенный способ производства изделий из фибробетона под давлением имеет ряд преимуществ в сравнении с другими вариантами:

- менее энергозатратен;
- ускоряет оборачиваемость комплекта оснастки, что повышает производительность,

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

- позволяет снизить размеры поперечных сечений конструкций, в следствие чего они сравнительно легки и более транспортабельны.

Рассмотренное изобретение [5] будет востребовано в практическом обороте, как удобный и практичный механизм для объектов строительства, т.к. позволяет улучшить технологические возможности и эксплуатационные характеристики изделий (минимизация пластического образования усадочных трещин, уменьшение термического растрескивания и увеличение износоустойчивости бетона) при значительном снижении их себестоимости, за счет уменьшения объемов расходования арматуры, трудозатрат и сроков выполнения работ.

Все рассмотренные выше изобретения являются важными и полезными, но способ изготовления изделий под давлением из высокопрочного фибробетона и комплекс для проведения анализа структуры и контроля прочности бетонных строительных конструкций остаются интересными для дальнейших исследований.

Список источников

1. SU 1778096 A1, 30.11.1992.
2. SU 1821372 A1, 15.06.1993.
3. RU 2303022 C1, 20.07.2007.
4. RU 2274547 C2, 20.04.2006.
5. RU 2641363 C1, 17.01.2018.
6. Конвейерная технология фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства / Л.Р. Маилян, А.Л. Маилян, Э.С. Айвазян // Инженерный вестник Дона. 2013. №3 (26).
7. Техничко - экономическое сравнение эффективности применения фибробетона на основе фибры различного происхождения / А.В. Боровков, С.В. Овчинникова // Инженерный вестник Дона. 2020. №11 (71). С. 259-270.
8. Изгибные прочностные характеристики фибробетонных конструкций / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, А.В. Звягинцева // Химия, физика и механика материалов. 2021. №4 (31). С. 77-93.
9. Анализ прочностных и деформативных характеристик облегченных и тяжелых бетонов, армированных базальтовой фиброй / А.А. Чернильник [и др.] // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 5



Научная статья
УДК 624.01
ГРНТИ: 67.11 Строительные конструкции
ВАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения
doi:10.51608/26867818_2022_2_36

УСТРОЙСТВО ЗОНЫ ОТДЫХА НА ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛЕ

© Авторы 2022
SPIN: 2492-7355
AuthorID: 625302

ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич, доктор технических наук, советник РААСН,
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

МЕЛЬНИК Мария Сергеевна, магистрант
Тольяттинский государственный университет
(445020, Россия, Тольятти, ул. Белорусская, 14, e-mail: gsx@tltsu.ru)

Аннотация. В работе предлагается технология устройства облегченного сооружения на кровли здания с целью обеспечения условий ее эксплуатации как зоны отдыха без нарушения защитных свойств водоизоляционного ковра. Устойчивость облегченного каркаса сооружения обеспечивается фиксацией стоек к поперечным стержням рамы, жестко закрепленной в горизонтальном положении продольными стержнями к парапету здания. Участок кровли, выделенный под зону отдыха, в целях безопасности ограждается плитными конструкциями из свето-прозрачных материалов. В пространстве, ограниченном ограждающими конструкциями кровли и стен, обеспечивается комфортное пребывание посетителей.

Ключевые слова: кровля, каркас, зона отдыха, устойчивость, строительство, эксплуатируемая крыша

Для цитирования: Ерышев В.А., Мельник М.С. Устройство зоны отдыха на эксплуатируемой кровле // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 36-41. doi:10.51608/26867818_2022_2_38.

Original article

ARRANGEMENT OF A RECREATION AREA ON AN OPERATING ROOF

© The Author(s) 2022 **ERYSHEV Valery Alekseevich**, Doctor of Technical Sciences,
professor of the department «Industrial and civil construction»

MELNIK Maria Sergeevna, undergraduate
Togliatti State University
(445020, Russia, Tolyatti, Belorusskaya st., 14, e-mail: gsx@tltsu.ru)

Annotation. The article offers technology of device of lightweight structure on a roof of a building to provide conditions of its operation as a recreation area without violation of protective properties of water-insulating carpet. The stability of the lightweight structure is ensured by fixing the posts to the transverse rods of the frame in the horizontal position by the longitudinal rods to the parapet of the building. The roofing area, which is designated as a recreation one, is protected for safety by tile structures made of light-transparent materials. In a space limited by the enclosing structures of the roof and walls, it provides a comfortable stay for the visitors.

Keywords: roof, frame, recreation area, framework, rods, stability, construction

For citation: Eryshev V.A., Melnik M.S. Arrangement of a recreation area on an operating roof // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 36-41. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_38.

В настоящее время в рамках развивающегося направления экологического строительства уделяется большое внимание к проектированию и устройству зеленых и эксплуатируемых крыш. Эксплуатируемые кровли широко используются за рубежом в районах, где температура воздуха сохраняется поло-

жительной круглый год. Накоплен определенный опыт в технологиях озеленения и выращивания растений на крышах зданий – как вариант очищения воздуха в городах и промышленных центрах [1].

При этом отмечается, что «использование эксплуатируемой кровли, как в РФ так и за рубежом по-

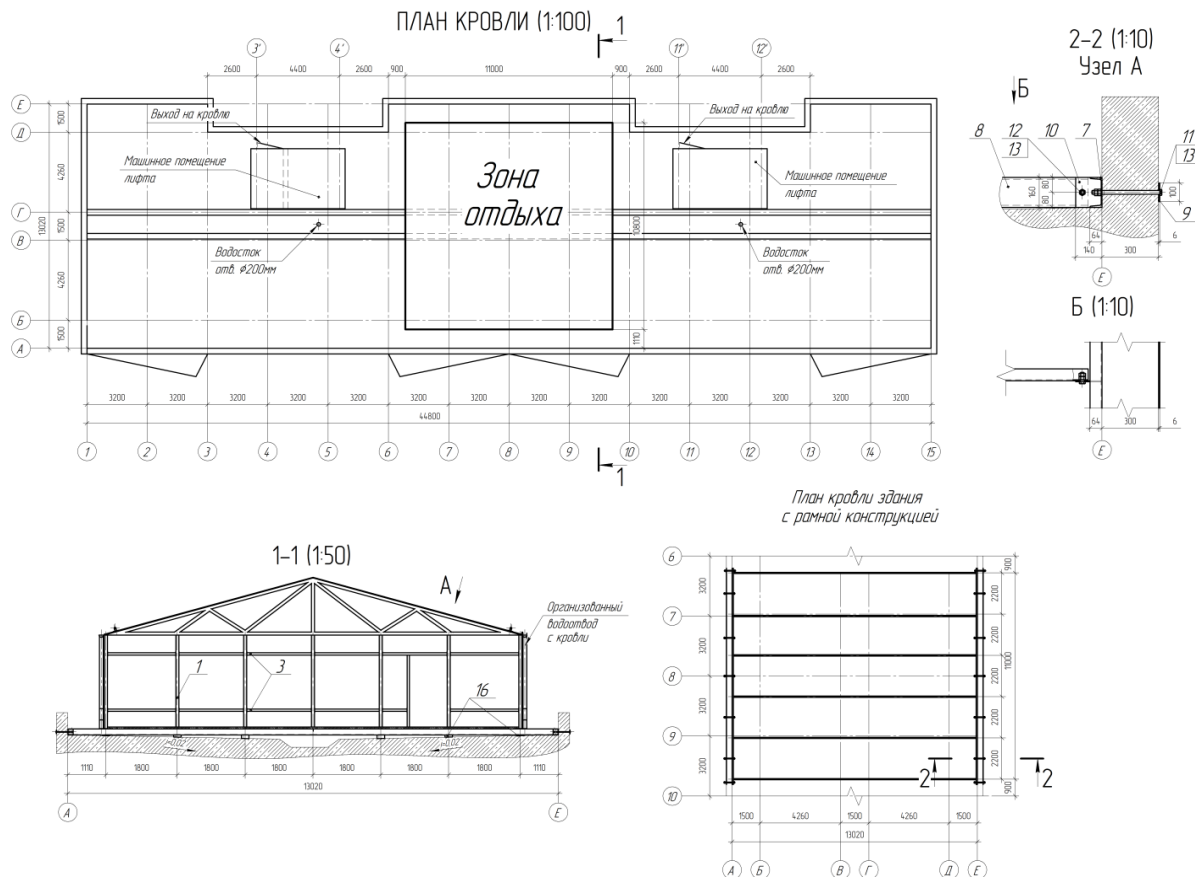


Рис. Устройство временных сооружений на крыши зданий

казало как достоинство так и ряд недостатков при их эксплуатации» [2, с. 221].

Большинство крыш современных зданий и сооружений пусты и не эксплуатируемы. Хотя, использоваться они могут по-разному, например: для автостоянок, под спортивные площадки, под детские игровые площадки, но могут стать и своего рода искусственным основанием для садов, бульваров, скверов и др. объектов ландшафтной архитектуры города [3, с. 762].

В общественных и жилых зданиях на плоских крышах наряду с ландшафтным дизайном можно устраивать зоны отдыха, смотровые площадки, защищенные от атмосферных осадков облегченными ограждающими конструкциями. В климатических условиях с отрицательными температурами и осадками в виде снега кровли могут эксплуатироваться только в летний период. Поэтому конструкции, обеспечивающие защиту людей от дождевых осадков, порывов ветра должны быть разборными и монтироваться с наступлением положительных температур.

Архитектура конструкций в виде навесов или с замкнутым пространством и остеклением определяется индивидуально и может иметь различные архитектурные формы. Однако, к устройству конструкций на кровли здания предъявляются общие требования: устойчивость от опрокидывания при интен-

сивных порывах ветра; временные нагрузки не должны превышать снеговые; сохранность водозащитного ковра; возможно независимое электроснабжение с использованием энергии ветра или солнца; безопасность людей на высоте и в целом комфортное их пребывание.

Так, например, есть такой вариант функциональной организации пространства на эксплуатируемой крыше: «Для разделения зон крыши на эксплуатируемые (куда житель квартиры может выйти) и не эксплуатируемые целесообразно ограничивать пространство для пользователя такой квартиры с помощью специальных железных перил или возводя небольшие монолитные стены. На эксплуатируемой крыше возможно устройство различных видов зеленых насаждений и размещение мебели в теплый период времени» [4, с. 63].

Выделим на плане здания участок, выделяемый под зону отдыха (рис., план кровли). На этом участке монтируется каркас, несущими элементами которого являются фермы покрытия и стойки с металлическими элементами квадратного сечения коробчатого типа (см. рисунок, 1-1).

Соединение ферм со стойками в узлах опирания и в узлах крайних ферм по нижнему поясу выполняется примыкающими фланцами и болтового соединения по каждой марке. Опорой каркаса кон-



струкции являются элементы рамы, расположенной в горизонтальной плоскости на кровле здания. Поперечные стержни (по цифровым осям) примыкают к косынкам двух продольных стержней (по осям А и Е с примыканием к парапету) и с помощью болтового соединения формируются узлы рамы. С учетом уклона кровли к организованному водостоку плоскость рамы выверяется геодезическими приборами, а поперечные стержни по длине выставляются с использованием деревянных прокладок и клиньев (2-2). Продольные стержни рамы закрепляются к парапету здания болтовыми соединениями (3-3, узел А).

Опорой стоек каркаса конструкции служат поперечные стержни рамы. Пролет каркаса назначается в пределах длины поперечных стержней (ширины здания). В плоскости поперечных стержней настилается пол и оформляется интерьер помещения. Расстояние между поперечными стержнями равно шагу стоек крайнего ряда конструкции. Стойки закрепляются к поперечным стержням с помощью фланцевого болтового соединения. Ограждением

конструкции кровли и стен могут быть облегченные панельные конструкции из прозрачного материала.

Разработано конструктивное решение устройства эксплуатируемой кровли, обеспечивающее устойчивость сооружения и сохранение целостности водоизоляционного ковра кровли здания.

Список источников

1. Руководство по проектированию и устройству эксплуатируемых и зеленых крыш. - Корпорация ТехноНИКОЛЬ. 2012.
2. Анализ достоинств и недостатков эксплуатируемых кровель в современном строительстве, решение проблемы волостока и наледи при их эксплуатации / А.П. Федосова // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 1. С. 221-225.
3. Сады на крышах: эксплуатируемая крыша, как элемент энергоэффективности / Ж.П. Леткеманн // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. матер. конф. - Белгород, 2021. С. 762-767.
4. Функциональная организация пространственной среды на примере двухуровневой квартиры / Н.И. Магнешева, Е.А. Королёва, А.В. Михайлин // Системные технологии. 2020. № 3 (36). С. 61-64.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 07.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.



Научная статья
УДК 691.32
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2022_2_39

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ АКТИВИРОВАННОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

© Автор 2022
SPIN: 5788-4577
AuthorID: 619018
ORCID: 0000-0001-8879-1190
ResearcherID: O-5968-2017
Scopus ID: 56504969400

ИБРАГИМОВ Руслан Абдирашитович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1,
e-mail: rusmag007@yandex.ru)

Аннотация. Целью работы является исследование структурообразования цементного камня методом ИК-спектроскопии составов, полученных модификацией пластификаторов различной химической основы и дополнительно обработанных в аппарате вихревого слоя; определение удельной поверхности полученного вяжущего методом воздухопроницаемости. По анализу полученных спектрограмм выявлено, что активация портландцемента совместно с исследуемыми добавками позволяет увеличить количество гидросиликатов кальция различной структуры, по сравнению с неактивированными составами, при этом содержание субмикроструктур гидросиликатов тоберморитоподобной структуры увеличивается в ряду: состав № 4 → состав № 6 → состав № 8. Установлено, что наибольшее снижение пористости цементного камня наблюдается при введении добавки MF (на 37 %), совместная активация добавки MF и портландцемента в аппарате вихревого слоя приводит к снижению пористости на 40,5 %. Введение пластификаторов при одновременном помоле с портландцементом в ABC приводит к значительному повышению его удельной поверхности. Данное значение зависит от химической природы пластификатора: так, при совместном помоле с добавкой С-3 (порошок) площадь удельной поверхности повышается с 375 до 620 м²/кг; при введении в жидком состоянии добавки SP10 – с 375 до 647 м²/кг; при введении добавки MF (порошок) – с 375 до 690 м²/кг.

Ключевые слова: активация, суперпластификатор, ИК-спектр, модификация, строительная отрасль

Для цитирования: Ибрагимов Р.А. Исследование влияния пластификаторов на структурообразование активированного цементного камня методом ИК-спектроскопии // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 39-45. doi:10.51608/26867818_2022_2_39.

Original article

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PLASTICIZERS ON THE STRUCTURE FORMATION OF ACTIVATED CEMENT STONE BY IR SPECTROSCOPY

© The Author(s) 2022

IBRAGIMOV Ruslan Abdirashitovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction Production Technology
Kazan State University of Architecture and Civil Engineering
(420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1, e-mail: rusmag007@yandex.ru)

Annotation. The aim of the work is to study the structure formation of cement stone by IR spectroscopy of compositions obtained by modifying plasticizers of various chemical bases and additionally processed in a vortex layer apparatus; determination of the specific surface of the obtained binder by the method of air permeability. According to the analysis of the obtained spectrograms, it was revealed that the activation of portland-cement together with the studied additives allows to increase the amount of calcium hydrosilicates of various structures, compared with non-activated compositions, while the content of sub-microcrystals of tobermorite-like hydrosilicates increases in the series: composition No. 4 → composition No. 6 → composition No. 8. It has been established that the greatest decrease in the porosity of the cement stone is observed with the introduction of the MF additive (by 37 %), the joint activation of the MF additive and the portland-cement in the vortex layer apparatus leads to a decrease in porosity by 40.5 %. The introduction of plasticizers with simultaneous grinding with portland-cement in ABC leads to a significant increase in its specific surface area. This value depends on the chemical nature of the plasticizer: thus, with joint grinding with the addition of C-3 (powder), the specific surface area increases from 375 to 620 m²/kg; when introducing



the SP10 additive in the liquid state, from 375 to 647 m²/kg; with the introduction of the additive MF (powder) - from 375 to 690 m²/kg.

Keywords: activation, superplasticizer, IR spectrum, modification

For citation: Ibragimov R.A. Investigation of the effect of plasticizers on the structure formation of activated cement stone by IR spectroscopy // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 39-45. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_39.

Введение. Одной из актуальных проблем современного строительного материаловедения является повышение прочности всех видов бетонов при одновременном снижении расхода портландцемента [1-3].

Традиционным и эффективным решением повышения физико-механических свойств и долговечности строительных материалов является способ активации их компонентов. Указанные методы можно классифицировать по виду агента воздействия на химические [4] (воздействие оказывает химическое вещество) и физические [5-6] (воздействие оказывает различные физические поля: механическое, электромагнитное и их разновидности).

Из существующих методов физической активации наиболее распространен сухой и мокрый помол вяжущего в мельницах и дезинтеграторах. При помолу вяжущего с пластификатором получают вяжущие низкой водопотребности (ВНВ), впервые разработанные в России [7-9].

При помолу пластификаторов с портландцементом в различных помольных аппаратах значительно повышается удельная поверхность вяжущего. С целью изучения параметров структуры твердеющих композитов применяются различные методы.

Эффективным методом оценки параметров структурообразования цементных композитов является метод ИК-спектроскопии [10]. Авторами данной работы установлено, что в модифицированных составах гидросиликатами бария повышается количество гидросиликатов кальция и уменьшается содержание портландита.

В работе [11] показана возможность определять степень термического поражения бетонов методом ИК-спектроскопии.

Авторы [12] методом ИК-спектроскопии показано влияние добавки СП-2ВУ на процессы структурообразования и гидратации цементного камня. В результате исследования установлено, что добавка позволяет получать более упорядоченную и стабильную структуру цементного камня.

Кроме того, химическое взаимодействие комплексной добавки и ее компонентов с глинистыми минералами удалось установить с помощью ИК-спектроскопии авторам работы [13].

ИК-спектроскопией возможно определять составы исходных компонентов для получения композиционных материалов, например автоклавного газобетона [14].

Целью данной работы является исследование структурообразования цементного камня методом ИК-спектроскопии составов, полученных модификацией пластификатора различной химической основы и дополнительно обработанных в аппарате вихревого слоя; определение удельной поверхности полученного вяжущего методом воздухопроницаемости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) определить сроки схватывания и нормальную плотность цементного камня, полученного модификацией исследуемых пластификаторов и обработанного в аппарате вихревого слоя, так и полученного без обработки;

2) определить показатель пористости исследуемого цементного камня;

3) методом ИК-спектроскопии получить данные о содержании гидратных фаз исследуемых составов;

4) определить удельную поверхность вяжущего, полученного совместной активацией пластификатора и портландцемента в аппарате вихревого слоя (методом воздухопроницаемости).

Материалы и методы. Для исследований использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Б/ПЦ 500-Д0-Н Новотроицкого цементного завода, соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2016 (далее – ПЦ). Химический состав использованного портландцемента приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав использованного портландцемента

Химический состав	Содержание, %
CaO	65,2
SiO ₂	22,55
Al ₂ O ₃	4,75
Fe ₂ O ₃	4,7
MgO	1,73
SO ₃	0,21
Alkalis	0,62

Обработку портландцемента производили в аппарате с вихревым слоем (АВС), модель 297, производитель ООО «Регионметтранс». Типовая конструкция АВС подробно представлена в работе [15].

В качестве пластификатора применяли следующие суперпластификаторы (СП):

СП С-3 – химическая добавка, продукт конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида,



представляет собой водорастворимый порошок, выпускается компанией «ПОЛИПЛАСТ»;

СП Remicrete-SP10 (FM) – химическая добавка на основе полиэфиркарбоксилата, представляет собой жидкость плотностью 1,1 г/см³, выпускается компанией «SCHOMBURG»;

СП Melflux2651 F – химическая добавка на основе полиэфиркарбоксилата (полимерная цепь образована α, β-ненасыщенными карбоновыми кислотами), порошок насыпной плотностью 0,4-0,6 г/см³, выпускается концерном «BASF».

Для исследований применялись углеродные нанотрубки: «TUBALL™» – однослойные углеродные нанотрубки производства компании «OCSiAl» (удельная поверхность 500-1000 м²/г).

Диспергацию расчетного количества УНТ проводили в аппарате вихревого слоя совместно с портландцементом в соответствии с методикой, представленной в работе [15]. Время обработки в АВС составило 5 минут. Для исследований образцов методом ИК-спектроскопии изготавливались кубы размером 2×2×2 см из цементного теста, которые твердели в течении 28 суток в нормально-влажностных условиях.

Содержание углеродных нанотрубок в исследуемых составах составило 0,005 % от массы цемента, содержание исследуемых суперпластификаторов составило 1 % от массы цемента.

При изучении влияния различных факторов на формирование прочности определяли пористость цементного камня, полученного из обработанного в АВС портландцемента с введением суперпластификаторов. Пористость определяли путем определения средней и истинной плотности продуктов гидратации с помощью прибора Ле-Шателье, расчет производился по формуле:

$$P = 100 \cdot (1 - q_{CP}/q_{ИС}),$$

где P – пористость в %, q_{CP} – средняя плотность, q_{ИС} – истинная плотность.

Регистрация ИК-спектров образцов производилась на Фурье ИК-спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer, модель Spectrum 65, с помощью приставки НПВО Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области 4000-600 см⁻¹, как правило, при 30 сканах. Запись и вычитание фонового спектра производилась автоматически. Изучаемые образцы предварительно измельчались в агатовой ступке до частиц микронного размера, после чего образовавшийся порошок прижимался к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялась НПВО-коррекция и сохранение спектра.

Для определения удельной поверхности вяжущего использовали прибор ПСХ-9.

Результаты. Определена удельная поверхность вяжущего по методу воздухопроницаемости,

полученного совместной обработкой портландцемента и исследуемых пластификаторов в аппарате вихревого слоя в течении временного интервала 0-8 мин. Полученные данные приведены на рис. 1.

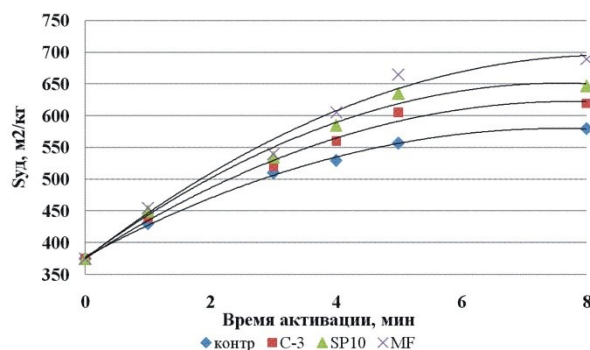


Рис. 1. Изменение удельной поверхности вяжущего в зависимости от времени обработки в АВС и используемого СП

Определено влияние исследуемых добавок на сроки схватывания и нормальную плотность цементного теста, пористость цементного камня. Время активации в АВС составов № 2, 4, 6, 8-9 составило 5 мин. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сроки схватывания и нормальная плотность цементного теста

№ состава	Наличие активации / наименование СП	Нормальная плотность, %	Сроки схватывания, ч-мин:		Пористость цементного камня, %
			начало	конец	
1	- / -	<u>28</u> * / 100 %	2-15	3-50	<u>21</u> / 100 %
2	+ / -	<u>28</u> / 100 %	1-45	3-25	<u>19</u> / 90,5 %
3	- / C-3	<u>22</u> / 78,6 %	2-55	4-35	<u>14,5</u> / 69 %
4	+ / C-3	<u>21</u> / 75 %	2-05	3-30	<u>13,9</u> / 66 %
5	- / SP10	<u>20,1</u> / 71,8 %	4-10	5-20	<u>13,8</u> / 65,7 %
6	+ / SP10	<u>20,1</u> / 71,8 %	2-35	4-55	<u>13,6</u> / 64,7 %
7	- / MF	<u>18,8</u> / 67 %	3-45	4-30	<u>13,2</u> / 63 %
8	+ / MF	<u>16,9</u> / 60,4 %	1-55	3-40	<u>12,5</u> / 59,5 %
9	+ / C-3+УНТ	<u>21</u> / 75 %	2-00	3-27	<u>13,7</u> / 65 %

Примечание: * над чертой – натуральное значение; под чертой – в % от контрольного.

Проведена идентификация продуктов гидратации исследуемых составов методом ИК-спектро-

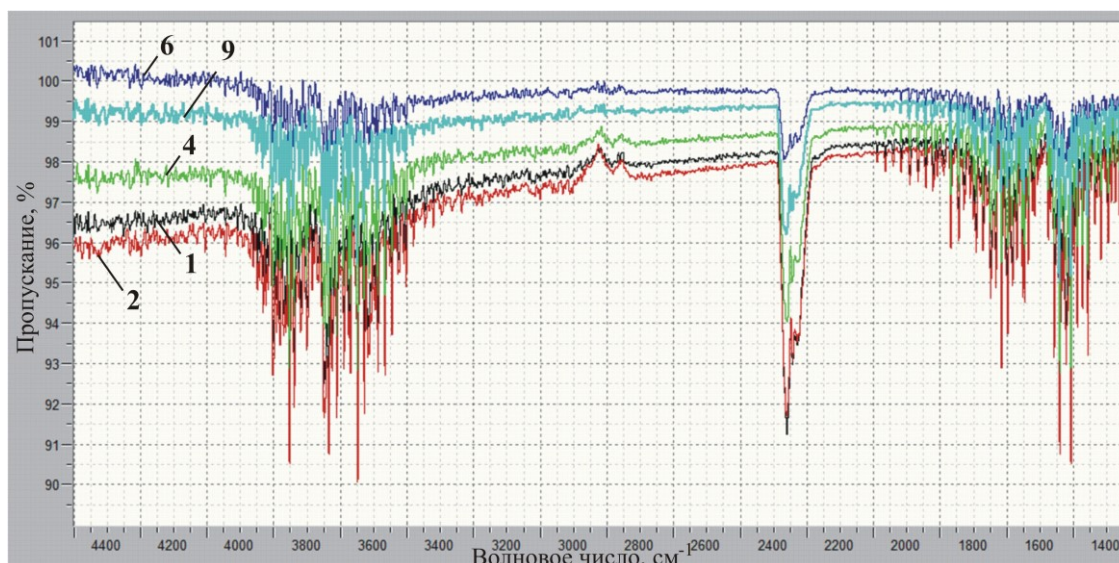


Рис. 2. Спектрограммы образцов цементного камня: нумерация составов указана в таблице 2

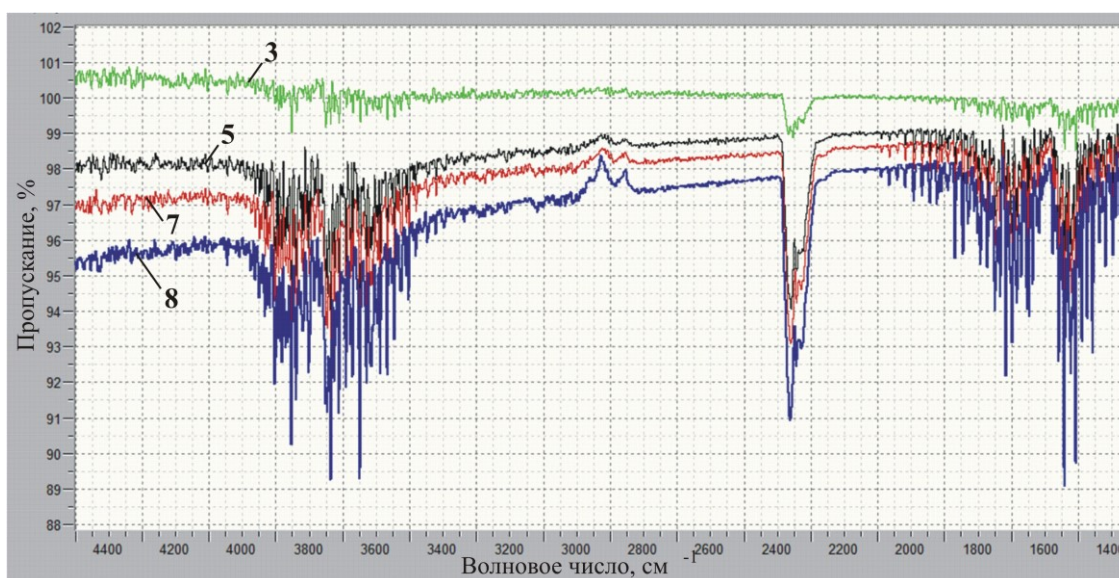


Рис. 3. Спектрограммы образцов цементного камня: нумерация составов указана в таблице 2

скопии. Спектрограммы составов № 1-9 представлены на рис. 2-3.

Количественный состав фаз исследуемых образцов цементного камня возможно сравнивать анализируя площади поглощения при соответствующей длине волны. Уменьшение или увеличение исследуемой фазы связано с площадью поглощения и может свидетельствовать об изменении фазового состава гидратируемого цементного камня.

Обсуждение. Из данных таблицы 2 видно, что активация портландцемента в АВС совместно с СП приводит к уменьшению нормальной густоты цементного теста, а также сроков схватывания, по сравнению с цементным тестом, полученным традиционным введением СП.

Активация портландцемента совместно с добавкой С-3 позволяет сократить сроки схватывания

цементного теста на 50 мин, а конец схватывания – на 65 мин, по сравнению с составом, полученным традиционным введением добавки. При совместной активации с добавкой SP10 сроки начала схватывания уменьшаются на 35 мин, а конец – на 25 мин; с добавкой MF – на 110 и 50 мин соответственно, по сравнению с составами, полученными обычным введением добавок.

Совместная активация портландцемента с добавкой SP10 не оказывает влияние на дополнительное снижение нормальной густоты получаемого цементного теста, по сравнению с традиционным введением добавки. Добавка SP10 представляет собою водный раствор и в соответствии с представлениями [16] введение около 1% воды при сухом помоле значительно повышает дисперсность порошка. Но по данным рис. 1 дисперсность получаемого порошка



портландцемента с добавкой SP10 выше, чем с добавкой С-3 на 5-30 м²/кг, но ниже, чем с добавкой MF на 5-33 м²/кг в зависимости от времени активации. Отсутствие дополнительного эффекта снижения нормальной густоты цементного теста, полученного активацией добавки SP10 и портландцемента, может быть вызвано небольшим нагревом при помоле.

Совместная активация добавки С-3 и портландцемента позволяет дополнительно снизить В/Ц отношение до достижения нормальной густоты цементного теста на 4,5 % по сравнению с составом без активации (состав №3), а с добавкой MF – на 10 %.

Введение добавок СП, а также активация портландцемента в АВС значительно влияет на пористость получаемого цементного камня.

Наибольшее снижение пористости цементного камня наблюдается при введении добавки MF (пористость снижается на 37 %), совместная активация добавки MF и портландцемента в АВС приводит к снижению пористости на 40,5 %. Пористость цементного камня, полученного на основе совместного помола СП и портландцемента, по сравнению с традиционным введением добавок снижается на 4 % при введении добавки С-3; на 1,5 % – при введении добавки SP10; на 5,3 % – при введении добавки MF.

Дополнительное введение УНТ (состав № 9) практически не оказывает влияние на сроки схватывания цементного теста и пористость цементного камня. Полученные результаты аналогичны составу № 4.

Методом ИК-спектроскопии установлено, что характерные отклики исследуемые образцы имеют при следующих волновых числах, см⁻¹: 3642; 3400; 1415; 1102; 950; 874.

Площади поглощений при соответствующий волновых числах полученных на спектрограммах (рис. 2-3) представлены в таблице 3. Нумерация составов соответствует таблице 2.

Таблица 3. Площади поглощений в соответствии с рис. 2, 3

№ состава	Волновое число, см ⁻¹					
	3642	3400	1415	1102	950	874
1	0,12	5,11	8,34	0,51	3,62	0,48
2	0,13	4,94	11,42	0,71	2,83	0,55
3	0,12	5,98	12,45	1,13	3,54	0,64
4	0,11	6,04	14,18	1,56	3,47	0,78
5	0,10	6,77	12,13	1,49	3,12	0,84
6	0,10	7,12	16,22	1,95	3,22	1,13
7	0,09	6,76	12,41	1,84	2,47	0,82
8	0,05	7,66	18,91	1,32	2,32	2,1
9	0,11	6,55	15,69	1,77	3,57	0,89

Колебания –ОН групп характерны при полосе поглощения 3642 см⁻¹, характеризующие гидросиликаты кальция различной структуры, а также портландит.

Количество портландита во всех составах, полученных активацией портландцемента в АВС уменьшается, по сравнению с неактивированными составами, что может быть связано с образованием гидросиликатов кальция различной структуры.

В области валентных колебаний СН соответствуют полосы поглощения при 2800-3300 см⁻¹, которые в исследуемых спектрах находятся на уровне шумов. Данные полосы поглощения по [17] принадлежат метоксигруппам –СН₂О– фактически отсутствующим в исследуемых составах цементного камня.

В интервале области прозрачности при полосах поглощения 1850-2700 см⁻¹ присутствует лишь дуплет полос поглощения, отвечающим опорной части спектрометра.

Полосы поглощений при 1400-1600 см⁻¹, а также широкая полоса спектра в области 3400-3500 см⁻¹ могут идентифицировать наличие субмикроструктур гидросиликатов тоберморитоподобной структуры (портландит, ксонолит и другие гидросиликаты аналогичной структуры) [18]. Количество указанных гидросиликатов увеличивается в ряду: состав № 4 → состав № 6 → состав № 8.

В области «отпечатков пальцев» при полосах поглощения ниже 1500 см⁻¹ наблюдается ряд идентификационных частот. Так, полосы поглощения при волновых числах 1415-1473 см⁻¹ могут принадлежать колебаниям –ОН групп в вершинах кремнекислородных тетраэдров, либо принадлежать СаСО₃ [19]. Дополнительная обработка портландцемента в АВС (составы № 2, 4, 6, 8, 9) способствует образованию силикатной фазы в большем количестве, по сравнению с необработанными составами (составы № 1, 3, 5, 7). Повышение количества силикатной фазы в цементном камне, полученном обработкой в АВС, приводит и к повышению его прочности, что и показано в работе [20].

Введение пластификаторов при одновременном помоле с портландцементом в АВС приводит к значительному повышению его удельной поверхности. Данное значение зависит от химической природы пластификатора: так, при совместном помоле с добавкой С-3 (порошок) площадь удельной поверхности повышается с 375 до 620 м²/кг; при введении в жидком состоянии добавки SP10 – с 375 до 647 м²/кг; при введении добавки MF (порошок) – с 375 до 690 м²/кг. Удельная поверхность портландцемента при совместном помоле с пластификатором повышается на 7-20 % по сравнению с помолом портландцемента без пластификатора.

Заключение. 1. Добавки на основе полиэфиркарбоксилата оказывают больший водоредуцирующий эффект, при этом совместная активации в АВС данный эффект дополнительно увеличивает на 10 % с добавкой MF. Добавка SP10, являющейся водным раствором, такой эффект не демонстрирует. Дис-



перность получаемого порошка портландцемента с добавкой SP10 выше, чем с добавкой С-3 на 5-30 м²/кг, но ниже, чем с добавкой MF на 5-33 м²/кг в зависимости от времени активации. Активация портландцемента совместно с исследуемыми добавками позволяет увеличить количество гидросиликатов кальция различной структуры, по сравнению с неактивированными составами, уменьшить содержание портландита, при этом содержание субмикросталлов гидросиликатов тоберморитоподобной структуры увеличивается в ряду: состав с добавкой С-3 → состав с добавкой SP10 → состав с добавкой MF. При этом

2. Определены сроки схватывания и нормальная плотность цементного теста, полученного обработкой портландцемента в АВС совместно с добавками СП, так и без обработки. Выявлено, что активация портландцемента совместно с добавкой С-3 позволяет сократить сроки схватывания цементного теста на 50 мин, а конец схватывания – на 65 мин, по сравнению с составом, полученным традиционным введением добавки. При совместной активации с добавкой SP10 сроки начала схватывания уменьшаются на 35 мин, а конец – на 25 мин; с добавкой MF – на 110 и 50 мин соответственно, по сравнению с составами, полученными обычным введением добавок.

3. Установлено, что наибольшее снижение пористости цементного камня наблюдается при введении добавки MF (на 37 %), совместная активация добавки MF и портландцемента в АВС приводит к снижению пористости на 40,5 %. Пористость цементного камня, полученного на основе совместного помола пластификатора и портландцемента, по сравнению с традиционным введением добавок снижается на 4 % при введении добавки С-3; на 1,5 % – при введении добавки SP10; на 5,3 % – при введении добавки MF.

4. Введение пластификаторов при одновременном помоле с портландцементом в АВС приводит к значительному повышению его удельной поверхности. Данное значение зависит от химической природы пластификатора: так, при совместном помоле с добавкой С-3 (порошок) площадь удельной поверхности повышается с 375 до 620 м²/кг; при введении в жидком состоянии добавки SP10 – с 375 до 647 м²/кг; при введении добавки MF (порошок) – с 375 до 690 м²/кг.

Список источников

1. Terzić A., Miličić L., Radulović D., Andrić L., Stojanović J., PezoL., Grigoroval. The effect of mechano-chemical activation and surface treatment of limestone filler on the properties of construction composites // *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 117. Pp. 61-73.

2. Sobolev K., Lin Z., Cao Y., Sun H., Flores-Vivian I., Rushing T., Cummins T., Weiss W.J. The influence of mechanical activation by vibro-milling on the early-age hydration and

strength development of cement // *Cement and Concrete Composites*. 2016. Vol. 71. Pp. 53-62.

3. Fediuk R.S. Mechanical activation of construction binder materials by various mills. materials treatment: current problems and solutions National Research Tomsk Polytechnic University. 2016. Pp. 120-129.

4. Stephens C., Brown L., Sanchez F. Quantification of the re-agglomeration of carbon nanofiber aqueous dispersion in cement pastes and effect on the early age flexural response // *Carbon*. 2016. Vol. 107. P. 482–500. DOI: 10.1016/j.carbon.2016.05.076.

5. Brown L., Sanchez F. Influence of carbon nanofiber clustering on the chemomechanical behavior of cement pastes // *Cem. Concr. Compos.* 2016. Vol. 65. P. 101–109. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.10.008.

6. Королев Е.В. Перспективы развития строительного материаловедения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 3. С. 143-159.

7. Bikbau M.Ya. From astringent low water requirements to nanocells: the path of development // *Technologies of concrete*. 2014. № 5 (94). Pp. 26-31.

8. Khozin V., Khokhryakov O., Nizamov R. A "carbon footprint" of low water demand cements and cement-based concrete // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 890 (2020) 012105 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012105

9. Хозин В.Г., Хохлаков О.В., Низамов Р.К. Карбонатные цементы низкой водопотребности – перспективные вяжущие для бетонов // *Бетон и железобетон*. 2020. №1 (601). С. 15-28.

10. Гришина А.Н., Королев Е.В. Исследование химического состава цементного камня, модифицированного гидросиликатами бария // *Вестник МГСУ*. 2015. №10. С. 66-74.

11. Зырянов В.С., Кузнецов К.Л., Шеков А.А. Определение степени термического поражения бетонов на основе цемента ОАО «Ангарскцемент» методом ИК-спектроскопии // *Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России*. 2015. №3 (74). С. 36-42.

12. Виноградова Л.А., Русакова Ю.П. ИК-спектры суперпластификатора СП-2ВУ и цементного раствора с добавкой // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. №1 (79). С. 289-293.

13. Bulanov P.E., Mavliev L.F., Vdovin E.A., Yagund E.M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-active agents // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. № 7. P. 171–179. doi: 10.18720/MCE.75.17

14. Комплексная добавка для автоклавного газобетона / Г.В. Кузнецова [и др.] // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 36-39.

15. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksins V.V. Efficient complex activation of portland cement through processing it in the vortex layer machine // *Structural Concrete*. 2019. 20(2). Pp. 851-859. doi: 10.1002/suco.201800008

16. Ходалов Г.С. Физика измельчения.- М.: Наука, 1972. 307 с.

17. Исследование минеральных добавок к композициям на основе высокоглиноземистого цемента методом инфракрасной фурье-спектроскопии / С.М. Лонгвин-



ков [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. № 10. 2012. С. 16-23.

18. Чукин Г.Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема - М.: Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. 172 с.

19. Mohaček-Grošev, V., Đuroković, M., & Maksimović, A. Combining raman spectroscopy, dft calculations,

and atomic force microscopy in the study of clinker materials // Materials. 2021. 14(13). doi:10.3390/ma14133648

20. Ибрагимов Р.А., Королев Е.В. Прочность композитов на основе модифицированного портландцемента, активированного в аппарате вихревого слоя // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 1. С. 35-41. doi: 10.33622/0869-7019.2021.01.35-41

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Научная статья

УДК 69.059.4 : 624.04

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_2_46

РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КРЕНА РЕГЕНЕРАТОРА ВОЗДУХА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

© Авторы 2022

SPIN: 2859-8155

AuthorID: 389994

МУРТАЗИН Марат Расимович, кандидат технических наук, доцент

SPIN: 8384-7039

AuthorID: 331934

ИНОЗЕМЦЕВ Вячеслав Константинович, доктор технических наук, профессор

ЯФАРОВ Руستم Кязимович, аспирант

ВОЛКОВ Константин Олегович, аспирант

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
(410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, 77, (e-mail: murta@bk.ru)*

Аннотация. Расчетная схема сооружения регенератора воздуха стекловаренной печи при оценке деформаций крена представляет собой объект с высоко расположенным центром сил тяжести. Деформации крена обусловлены сложными деформационными процессами, протекающими в грунтовом основании сооружения регенератора. Мониторинг осадок фундаментных плит сооружений регулярно проводится в течение всего периода эксплуатации стекловаренной печи. Данные геодезического мониторинга позволили построить модель системы «сооружение регенератора – грунтовое основание», позволяющие дать прогноз развития крена регенератора на период его эксплуатации между «холодными» ремонтами.

Ключевые слова: высотный объект, грунтовое основание, ползучесть, деформации крена, устойчивость, строительная отрасль

Для цитирования: Развитие деформаций крена регенератора воздуха стекловаренной печи / М.Р. Муртазин, В.К. Иноземцев, Р.К. Яфаров, К.О. Волков // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 46-50. doi:10.51608/26867818_2022_2_46.

Original article

DEVELOPMENT OF LURCH DEFORMATIONS GLASS FURNACE AIR

© The Author(s) 2022

MURTAZIN Marat Rasimovich, candidate of technical sciences, associate professor

INOZEMTSEV Vyacheslav Konstantinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor

YAFAROV Rustem Kyazimovich, postgraduate student

VOLKOV Konstantin Olegovich, postgraduate student

Saratov State Technical University Gagarina Yu.A.

(410054, Russia, Saratov, Politekhnicheskaya st., 77, e-mail: murta@bk.ru)

Annotation. The design scheme for the construction of an air regenerator for a glass melting furnace assessing lurch deformations represents an object with a high center of gravity. Lurch deformations are caused by complex deformation processes occurring in the soil foundation of the regenerator structure. The monitoring of the sedimentation of the structures' foundation slabs is regularly carried out during the entire period of operation of the glass melting furnace. The geodetic monitoring data made it possible to build a model of the "regenerator construction – soil foundation" system, which makes it possible to predict the development of the regenerator lurch for the period of its operation between "cold" repairs.

Keywords: high-rise object, ground base, creep, lurch deformations, stability

For citation: Development of lurch deformations glass furnace air / M.R. Murtazin, V.K. Inozemtsev, R.K. Yafarov, K.O. Volkov // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 46-50. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_46.

Введение. Регенератор стекловаренной печи.

Одним из примеров сложной реологической среды является грунтовая среда оснований фундаментов промышленных сооружений, которая нередко подвергается техногенным воздействиям, обусловленным различными технологическими процессами. Примером таких воздействий является обводнение грунтового основания фундаментов в период «холодного» ремонта стекловаренной печи и последующий разогрев грунта основания после окончания ремонта и «запуска» печи. Одним из элементов стекловаренной печи является регенератор, сооружение с высоко расположенным центром тяжести (рис. 1).

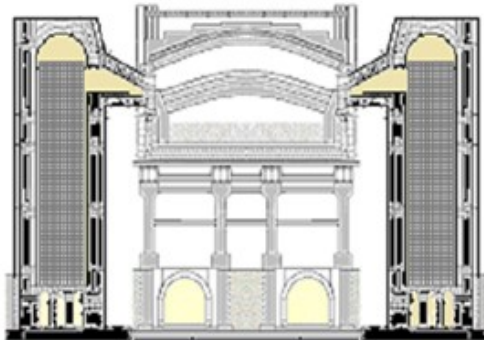


Рис. 1

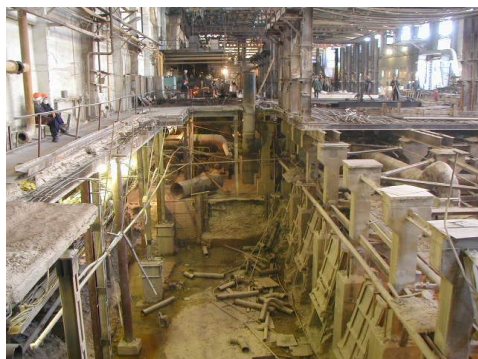


Рис. 2

Работа регенератора обеспечивает подачу воздуха через «влет» регенератора во внутреннее пространство ванны расплава стекломассы. Высокое расположение центра тяжести регенератора обусловлено заполнением его внутреннего объема кирпичной кладкой, называемой «насадка». Одна из проблем, связанных с работой регенератора, заключается в развитии деформаций его крена в связи с деформационными процессами в грунтовом основании. Деформации крена регенератора вызывают разрушение конструкции «влета» горелки камеры регенератора, через которую раскаленные газы поступают в ванну расплава стекломассы стекловаренной печи.

Срок эксплуатации стекловаренной печи составляет 6-9 лет в зависимости от ее производитель-

ности и текущего технического состояния. После завершения эксплуатационного периода происходит «холодный» ремонт стекловаренной печи в течение, которого происходит полный демонтаж регенераторов с последующим их восстановлением (рис. 2). На рисунке 2 показана фундаментная плита после демонтажа конструкций регенератора. На рисунке 3 показан поперечный разрез стекловаренной печи и высокотемпературного поля в результате разогрева массива грунтового основания под фундаментными плитами регенераторов. На рисунке 4 показана конструкция «влета» горелки регенератора.

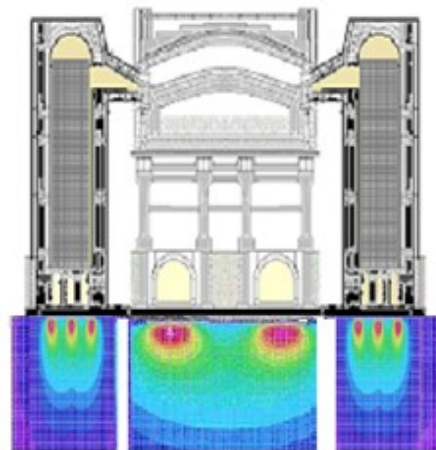


Рис. 3



Рис. 4

Метод. Деформационные процессы в основании регенератора.

Деформационные процессы, протекающие в основании регенератора, вызывают развитие деформаций крена. Особенно сложным представляется реологический процесс уплотнения грунтов. В частности водонасыщенных и особенно глинистых. Развитие этого процесса во времени тесно связано с особенностями физико-механических свойств грунтов и действием различных факторов. Для описания процессов уплотнения грунтовых сред необходимы многоэлементные модели, отображающие фильтрационные процессы, сдвиговую ползучесть, а также структурные процессы в грунтах при их деформировании.



Механистическая интерпретация процессов деформирования сложных сред с помощью механистических моделей показана на рис. 5.

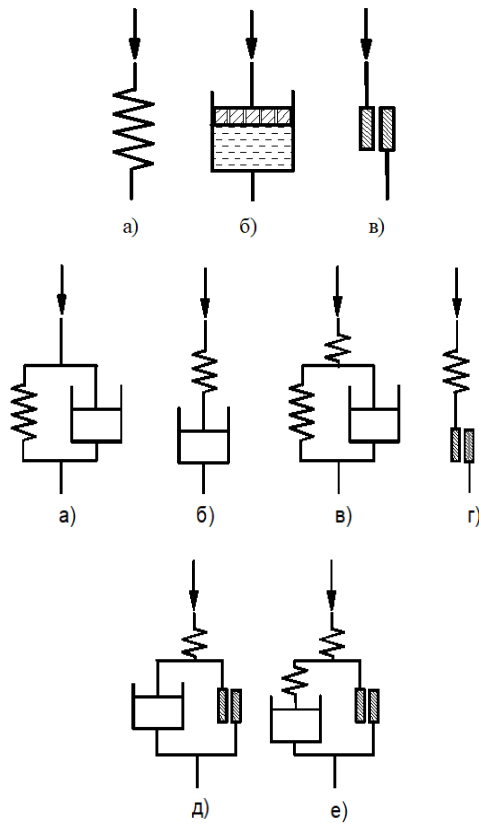


Рис. 5

Другой вид нелинейности обусловлен развитием процесса разрушения скелета грунта. Завершается этот временной период наступлением предельного состояния, при котором скорость развития процесса ползучести во времени стремится к бесконечности, а нарастание микротрещин в грунте приводит к прогрессирующему разрушению. На рисунке 6 показано развитие процесса сдвиговой ползучести во времени. Так, при различных уровнях касательных напряжений нелинейный процесс изменения формы (сдвиговой ползучести) включает три стадии (рис. 6).

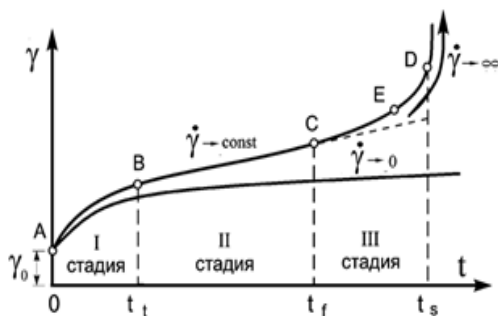


Рис. 6

I - стадия затухающей или неустановившейся ползучести;

II - стадия установившегося течения;

III - стадия прогрессирующего развития микротрещин в грунте и нарастания деформаций, заканчивающаяся разрушением.

Развитие деформаций крена нарастает при нагрузках приближающихся к критическим значениям потери устойчивости равновесия. Другое условие возрастания деформаций крена возможно при снижении жесткостных свойств грунтового основания.

Прогноз деформаций крена регенератора. Задачи устойчивости, как известно, это нелинейные задачи, учитывающие нелинейности различного вида. Одна из таких задач предложена в [1,2], основанный на рассмотрении серии изохронных кривых «напряжение – деформация, накопленные к моменту времени t ». Другой подход, предложенный в [3] предлагает определять потерю устойчивости при достижении некоторой критической деформации, определяемой из решения упругой задачи устойчивости.

Одни из них, например - это нелинейные реологические процессы деформирования упруговязкопластических тел, грунтов и материалов, другие - это нелинейные процессы деформирования сложных конструкций из области строительства или систем, объединяющих строительный объект и грунтовое основание. Примером такого объединения может служить система «объект с высоко расположенным центром тяжести – грунтовое основание» (рис. 7).

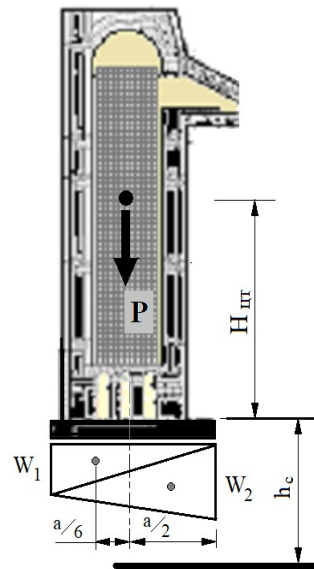


Рис. 7

На рисунке 7 показана расчетная схема объекта с высоко расположенным центром сил тяжести, введены обозначения: H_{ctr} – высота положения центра сил тяжести, a – ширина фундаментной плиты, h_c – мощность несущего слоя основания, W_1, W_2 – вертикальные перемещения торцов фундаментной плиты сооружения с начальным несовершенством. Начальная вели-



чина деформаций крена представлена углом поворота вертикальной оси высотного объекта ϕ_{00} , в момент $t = 0$ величина угла поворота оси ϕ_0^* будет равна:

$$\phi_0^* = \frac{P}{P_{кр} - P} \phi_{00} \quad (1)$$

где P – нагрузка; $P_{кр}$ – критическая нагрузка.

Особенностью таких строительных объектов, является их склонность к потере устойчивости исходного вертикального положения равновесия при увеличении вертикальной нагрузки и развитие деформаций крена. Потеря устойчивости высотного объекта может происходить и с течением времени в связи с реологическими процессами, протекающими в грунтовой среде основания под действием постоянных нагрузок (длительная устойчивость). Здесь характерной особенностью по сравнению с другими критериями предельных состояний возможна, так же как и в классических задачах потери устойчивости при возрастающей нагрузке, внезапность и, часто, непредсказуемость.

В грунтовом основании стекловаренной печи протекают сложные процессы обусловленные изменением влажностного режима работы в связи с периодичностью холодного ремонта, вибрационные воздействия от работы регенераторов и высокие температуры от подземных газоходов [5]. Анализ температурных полей показывает, что после холодного ремонта грунтовое основание работает в условиях разогрева до двух лет. Осадки основания фундаментной плиты обусловлены комплексным воздействием режима эксплуатации, периодическими холодными ремонтами и наличием осадочных свойств грунта. Скорость осадок в данном случае оценивалась в геодезического мониторинга. Результаты мониторинга приведены в таблице 1.

Таблица 1

Дата	Скорость осадки мм/месяц	Скорость осадки, %
10.04.2001	2.36	100.0%
08.11.2001 (Цементация)	2.15	90.8%
25.10.2002	1.58	67.0%
03.03.2003 (До ремонта)	1.81	76.6%
20.04.2004 (136 дней)	1.57	66.4%
07.07.2004 (214 дней)	1.00	42.3%
25.10.2004 (324 дня)	0.40	16.9%
28.01.2005 (1 год 54 дня)	0.77	32.6%
28.04.2005 (1 год 144 дня)	0.40	16.9%
28.07.2005 (1 год 235 дней)	0.54	23.0%
28.11.2005 (1 год 358 дней)	0.34	14.6%
01.03.2006 (2 года 85 дней)	0.66	28.0%
20.07.2006 (2 года 226 дней)	0.39	16.7%

Для учета деформаций ползучести между действующим напряжением и скоростью ползучести многие экспериментальные данные позволяют принять степенную зависимость.

$$\dot{e}_p = \left(\frac{\sigma}{\lambda}\right)^m \quad \dot{e}_e = \frac{\sigma}{E_0} \quad \dot{e} = \left(\frac{\sigma}{\lambda}\right)^m - \frac{\sigma}{E_0} \quad (2)$$

Расчетная схема системы «объект с высокорасположенным центром тяжести – грунтовое основание» представляет два вида нелинейностей. Один вид нелинейности связан со статической нелинейностью задачи устойчивости. Второй вид нелинейности представлен моделью реологических осадок.

$$e_1 + e_2 = \frac{2P}{ah_c E_0} \quad e_2 - e_1 = \phi \frac{a}{h_c} \quad (3)$$

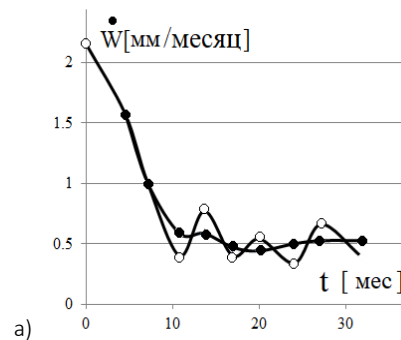
Скорость развития деформации крена регенератора обусловлено дисбалансом скоростей [6]:

$$\dot{\phi} = \frac{h_c}{a} \left[\dot{e}_2 - \dot{e}_1 \right] = \frac{h_c}{a} \left[\left(\frac{\sigma_2}{\lambda}\right)^m - \left(\frac{\sigma_1}{\lambda}\right)^m + \frac{\dot{\sigma}_2}{E_0} - \frac{\dot{\sigma}_1}{E_0} \right] \quad (4)$$

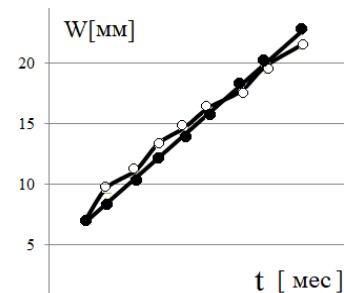


Рис. 8

Результаты и обсуждение. Графики изменения скорости осадок фундаментной плиты по результатам геодезического мониторинга (рис. 9а, б). Один из графиков скорости по результатам отдельных измерений, другой это осредненные значения скорости. На рисунке 9 показан рост осадок с течением времени (31 месяц) по двум графикам скоростей.



а)



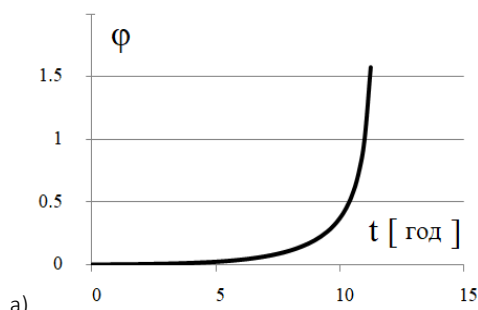
б)

Рис. 9

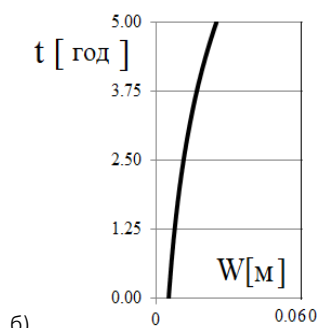


Эти экспериментальные данные позволяют определить l и m – постоянные грунтового основания ($m=3$; $l=100$ кН/мм²мес^{1/3}).

Оценка вертикальных осадок фундаментной плиты показывает, что за 32 месяца (2.65 года) работы стекловаренной печи осадка составила 22мм.



а)



б)

Рис. 10

Срок непрерывной эксплуатации стекловаренной печи до холодного ремонта в зависимости от ее текущего технического состояния от 5 до 9 лет. Максимальная осадка фундаментной плиты в этом случае (с учетом затухания скорости) ожидается до 50 мм. За

весь предыдущий период эксплуатации осадка фундаментальной плиты достигла 150 мм.

Потеря устойчивости во времени определяется как возрастание скорости деформации до бесконечности по истечении некоторого времени (рис. 10а).

Здесь возможен прогноз крена регенератора в период эксплуатации (рис. 10б). В данном случае интересен срок эксплуатации равный периоду между холодными ремонтами печи и соответствующая величина крена регенератора. График зависимости от времени деформации крена регенератора $W = \phi H$, где H – высота регенератора показывает, что крен может достичь 30мм.

Заключение. Относительно деформаций крена регенератора можно отметить, что скорость их развития в виде увеличения угла поворота вертикальной оси регенератора значительно медленнее в период времени предшествующий приближению к критическому моменту потери устойчивости.

Деформации крена регенератора достигнут 30мм в течение 5 лет эксплуатации и спровоцируют процесс деструкции конструкции «влета» регенератора.

Список источников

1. Shanley F.R. Inelastic column theory // Journal Aeronautical Sciences. 1947, Vol. 14, No. 5. P. 281 – 287.
2. Shanley F.R. Weight-Strength analysis of aircraft structures. – NY – London: McGraw-Hill Book Co., Inc, 1952.
3. Gerard G. A creep buckling hypothesis // Journal Aeronautical Sciences, 1956, Vol.23, No 9. P.879-882/
4. Экспертиза и мониторинг урбанизированных территорий и строительных объектов / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. 472 с.
5. Математическая модель деформирования геомассивов применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. - Саратов: СГТУ, 2005. 412 с.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Научная статья

УДК 69.059.4 : 624.04

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_2_51

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА

© Автор 2022

SPIN: 2225-0830

AuthorID: 938890

МУРТАЗИНА Гульсем Расимовна, ассистент кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

(410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: galamurta@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются критерии устойчивости положения высотного объекта. Он основан на базе условия Кулона, когда устойчивость положения рассматривается как устойчивость грунтового массива основания высотного объекта. При этом полагается, что вследствие развития зон предельного напряженного состояния и образования «пластического шарнира» в основании высотного объекта его устойчивость против опрокидывания становится необеспеченной. В практике проектирования высотных зданий условие Кулона реализуется методом снижения прочностных характеристик грунта (сцепления и угла внутреннего трения) с использованием ПК Plaxis 2D. Снижение характеристик грунта производится пропорционально одному параметру до тех пор, пока не произойдет разрушение. Этот параметр отождествляется с коэффициентом надежности, представляющим собой отношение имеющегося сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, необходимому для обеспечения равновесия. В данном случае снижение прочностных характеристик грунта будем рассматривать как проявление геотехнической проблемы подтопления городских территорий. Эта проблема характерна для Поволжского региона в прибрежной зоне Саратовского и Волгоградского водохранилищ. В этом случае при оценке устойчивости положения высотного объекта используются экспериментальные графики зависимостей показателей прочностных свойств грунта от влажности. В СП 63.13330.2018 Приложение В о методах расчета устойчивости рекомендуется: «В.13 Расчет конструктивных систем производят методами строительной механики. ...». В этом случае рассматривается проблема устойчивости вертикального положения равновесия высотного объекта. С позиций строительной механики это задача о бифуркации равновесного состояния, после которой исходное вертикальное положение равновесия высотного объекта теряет устойчивость.

Ключевые слова: высотный объект, грунтовое основание, устойчивость положения, коэффициент надежности, строительные конструкции

Для цитирования: Муртазина Г.Р. Геотехнические проблемы и устойчивость высотного объекта // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 51-56. doi:10.51608/26867818_2022_2_51.

Original article

GEOTECHNICAL PROBLEMS AND STABILITY OF A HIGH-RISE BUILDING

© The Author 2022

MURTAZINA Gulsem Rasimovna, assistant of the department

«Building materials, structures and technologies»

Saratov State Technical University Gagarina Yu.A.

(410054, Russia, Saratov, Politekhnicheskaya st., 77, e-mail: galamurta@mail.ru)

Annotation. The article studies the stability criteria of a high-rise building. It is based on the Coulomb condition, under which position stability is viewed as stability of the earth mass of a high-rise building foundation. At the same time, we assume that due to zones of the limit stress state development and formation of a “plastic centroid” at the foundation of a high-rise building, its resistance against overturning becomes unsecured. In the practice of high-rise building design, the Coulomb condition is implemented through reducing strength characteristics of the soil (cohesion and angle of internal friction) using Plaxis 2D software. The soil characteristics’ degradation is performed proportionate to one parameter until destruction occurs. This parameter is identified with the reliability factor, which is the ratio of the available soil shear resistance to the minimum lateral resistance required to ensure the equilibrium. In this case, we view soil strength characteristics’ degradation as a manifestation of the geotechnical problem of urban areas’ flooding. This problem is typical for the Volga Region in the coastal zone of Saratov and Volgograd reservoirs. In this case, when assessing position stability of a high-rise building, we used experimental moisture dependency graphs for the soil strength properties’ characteristics. In Construction Rules 63.13330.2018 Appendix B on methods for calculating stability, the following is recommended: “B.13 Calculation of structural systems is carried out by methods of



structural mechanics. ...". In this case, we view the problem of stability of the vertical equilibrium position of a high-rise building. From the standpoint of structural mechanics, this is the problem of an equilibrium state bifurcation, after which the initial vertical equilibrium position of a high-rise building loses stability.

Keywords: high-rise building, earth foundation, position stability, reliability coefficient

For citation: Murtazina G.R. Geotechnical problems and stability of a high-rise building // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 51-56. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_51.

Введение. Объектом исследования является устойчивость положения высотного объекта в условиях снижения прочностных характеристик грунта вследствие проявления геотехнической проблемы подтопления городских территорий. Эта проблема характерна для Поволжского региона в прибрежной зоне Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Наиболее значимыми техногенным фактором изменения естественного режима подземных вод на этих территориях является подпор Волгоградского водохранилища в результате строительства Волгоградской ГЭС. Любой высотный объект обладает очевидной склонностью к потере устойчивости его вертикального положения, а так же к опрокидыванию в связи с потерей равновесного состояния под действием горизонтальных ветровых нагрузок. В настоящее время в практике проектирования высотных объектов необходимо давать оценку запаса устойчивости положения. При этом рассматривается устойчивость высотного объекта на сдвиг и на опрокидывание. Здесь следует заметить, что в СП 63.13330.2018 Приложение В о методах расчета устойчивости рекомендуется: «В.13 Расчет конструктивных систем производят методами строительной механики...». На ряду с методами строительной механики используются так же и методы механики грунтов. В этом случае рассматривается развитие областей предельного напряженного состояния по объему основания, в частности, когда они сливаются в один сплошной объем, образуя пластический шарнир. Очевидно, что после образования пластического шарнира любой строительный объект под действием горизонтальных нагрузок должен опрокинуться. Особенность такого исследования состоит в том, что оно реализуется методом снижения прочностных характеристик грунта (сцепления и угла внутреннего трения), в частности с использованием ПК Plaxis 2D [1]. Таким образом, устойчивость в данном случае отождествляется с коэффициентом надежности, представляющим собой отношение имеющегося сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, необходимому для обеспечения равновесия:

$$\text{Коэффициент устойчивости} = \frac{\text{Существующая прочность}}{\text{Прочность при разрушении}}$$

Будем считать, что снижение прочностных характеристик грунта (сцепления и угла внутреннего

трения) происходит вследствие повышения влажности грунтового основания.

Процесс деформации грунтов протекает во времени и является достаточно длительным. В этот период в грунте происходят структурные изменения, меняются не только физические и деформационные, но и прочностные свойства. В период строительства и эксплуатации зданий наряду с процессом консолидации грунта может развиваться процесс дополнительного увлажнения грунтов основания. Поэтому для оценки несущей способности и устойчивости массивов неводонасыщенных грунтов, а также описания процессов сдвиговой ползучести необходим учет влияния их состояния на протяжении всего процесса изменения влажности грунтов. Определение показателей прочности грунта естественной влажности и в водонасыщенном состоянии обычно не представляет затруднений. Значительно большие трудности возникают при необходимости установления параметров прочностных свойств при промежуточных значениях влажности (между природной влажностью и влажностью, соответствующей условиям полного водонасыщения). Изучением моделей грунта и их параметров для численного моделирования занимались А.И. Голубев, А.В. Селецкий, Л.А. [2, 3]. Параметры для супесей, торфа, песка рыхлого и пылеватого определены в [4]. Для песков средней плотности и плотных параметры определялись автором [5].

Графики зависимостей показателей прочностных свойств скрытопластичных суглинков, получены Н.Н. Масловым для заданной степени увлажнения (рис. 1а) [6]. В исследованном диапазоне изменения влажности (30-41%) ярко выраженный нелинейный характер имеет зависимость для угла внутреннего трения φ_{Ω} . Зависимость общего сцепления Ω_c от влажности близка к линейной.

На аналогичные по характеру зависимости угла внутреннего трения и сцепления от уровня влажности в диапазоне изменения $\Omega = 25-36\%$ (рис. 1б), полученные Н.Ф. Котовым, указывает в своей книге С.Р. Месчан [7].

Для построения расчетной схемы высотного объекта будем рассматривать экспериментальные графики Н.Н. Маслова (рис. 1а) [6].

В качестве аппроксимации зависимость общего сцепления ω_c от влажности примем нелинейную зависимость, а для угла внутреннего трения φ_{ω} примем полигональную зависимость вида (рис. 2):

- для $30\% < \Omega < 33.5\%$ примем $\varphi = (82 - 2\Omega)$ град;
- для $33.5\% < \Omega < 37.4\%$ примем $\varphi = (35 - 0.6\Omega)$ град;
- для $37.4\% < \Omega < 44\%$ примем $\varphi = (16.7 - 0.11\Omega)$ град.

Метод. В качестве метода оценки устойчивости положения высотного объекта исследуем развитие областей предельного состояния грунта основания, вследствие повышения его влажности.
В случае высотного объекта устойчивость его

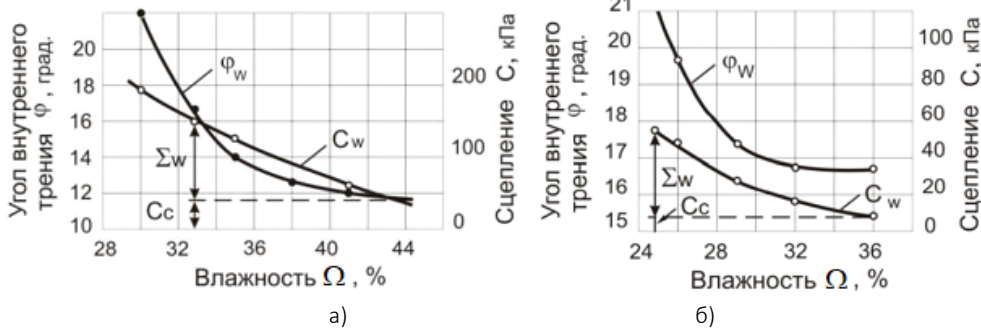


Рис. 1. Графики зависимости угла внутреннего трения и общего сцепления от влажности

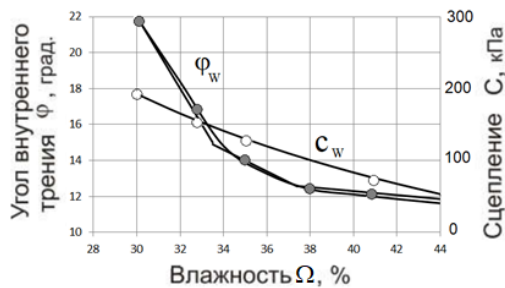


Рис. 2. Аппроксимация графиков зависимости угла внутреннего трения и общего сцепления от влажности

В практике проектирования высотных зданий метод снижения прочностных характеристик грунта предполагает их снижение пропорционально одному параметру, который отождествляется с коэффициентом надежности. В данном случае учтём ярко выраженный нелинейный характер зависимость для угла внутреннего трения φ_w от влажности грунтового основания.

положения при воздействии горизонтальных нагрузок снижается с развитием областей предельного состояния вследствие повышения влажности основания. Здесь возможна потеря равновесного состояния системы «высотный объект - сжатое грунтовое ядро между областями предельного состояния».

В частности, в этом случае области предельного напряженного состояния по объему основания сливаются в один сплошной объем, образуя пластический шарнир под подошвой фундаментной конструкции. Очевидно, что после образования пластического шарнира любой строительный объект под действием горизонтальных нагрузок должен опрокинуться.

Оценку устойчивости положения высотного объекта методами строительной механики исследуем с позиций бифуркационного подхода. В этом случае ставится вопрос об устойчивости исходного строго вертикального состояния равновесия высот-

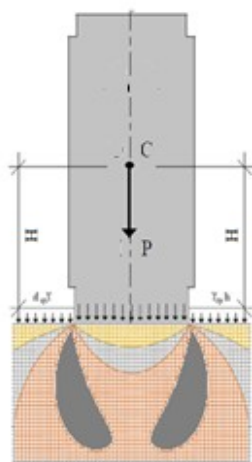


Рис. 3 Развитие областей предельного состояния основания

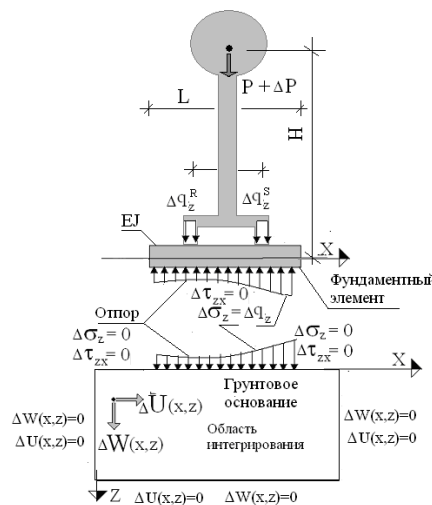


Рис. 4. Расчётная схема напряженно-деформированного состояния основания высотного объекта

ного объекта на деформируемом грунтовом основании.

Результаты и обсуждение. Для расчета напряженно-деформированного состояния основания высотного объекта объединим решение прикладной инженерной задачи смешанной модели теории линейно деформируемой среды и теории предельного равновесия с уравнениями равновесия высотного объекта (рис. 3, 4).

При этом согласно п. В.9 СП 63.13330.2012 [Н.12] при расчете устойчивости положения, конструкции высотной части здания принимаются как жесткое недеформированное тело.

Система уравнений, описывающих напряженное состояние грунтовой среды (рис. 4), имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0; \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta^2(\sigma_x + \sigma_z) = -\frac{1}{1-\nu} \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial z} \right),$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_2 + 2\sigma_c) \text{Sin}\phi. \quad (1)$$

Здесь уравнения равновесия выполняются по всему объему грунтовой среды основания, уравнения совместности выполняются в упругой области

деформирования, уравнения предельного равновесия, являющиеся одной из форм уравнения Кулона, выраженного через главные напряжения, выполняются только в области предельного равновесия.

Рассмотрим в рамках плоской задачи развитие области предельного состояния при изменении параметров линейной зависимости Кулона ϕ и c , используя приближенный способ определения их очертания [8]. В этом случае задача определения предельной области сводится к отысканию в различных точках основания величины максимального угла отклонения от нормали к площадке равнодействующей напряжений θ_{\max} и сопоставление ее с параметрами ϕ и c .

$$\sin\theta_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2c / \text{tg}\phi} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}}{\sigma_x + \sigma_z + 2c / \text{tg}\phi} \quad (2)$$

где $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ - суммарные напряжения в грунте основания от всех действующих нагрузок и объемных сил.

Численное решение системы дифференциальных уравнений (1) совместно с граничными условиями на рис. 4 осуществляем методом конечных разностей [9] сводя дифференциальные уравнения к системе алгебраических уравнений записанных относительно перемещений.

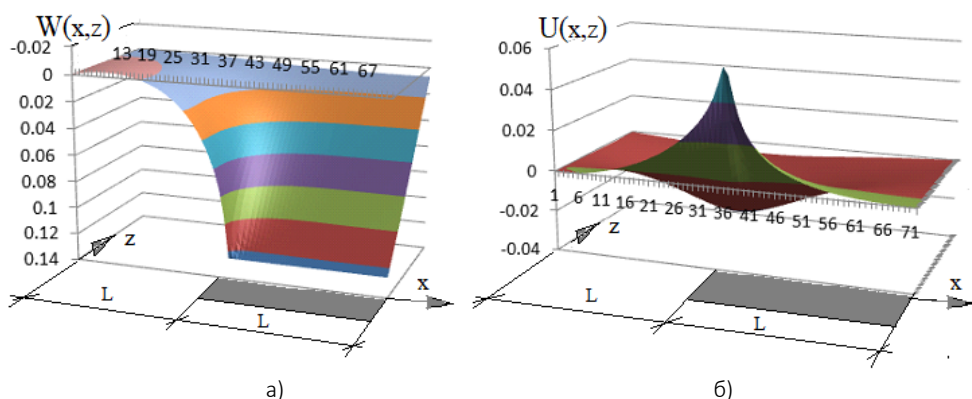


Рис. 5. Эпюры вертикальных и горизонтальных перемещений W и U

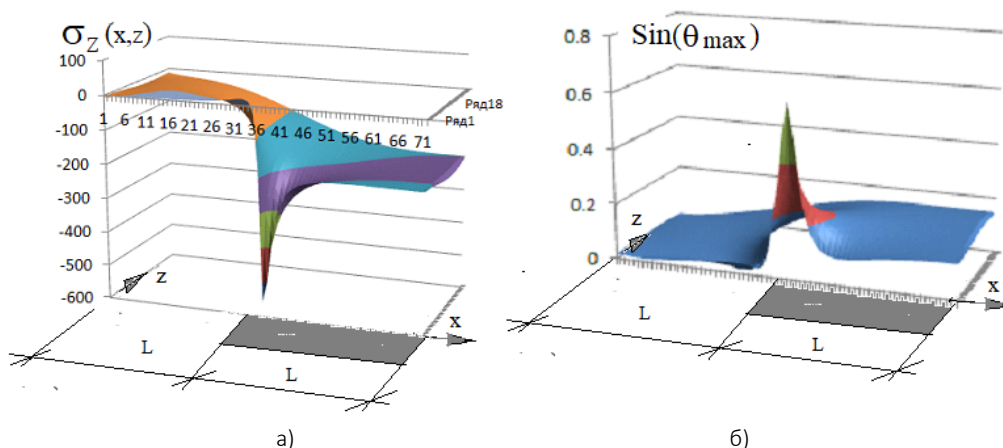


Рис. 6. а - Эпюра вертикальных напряжений; б - эпюра максимального угла отклонения от нормали

$$A \begin{Bmatrix} \Delta W \\ \Delta U \end{Bmatrix} = \lambda B \begin{Bmatrix} \Delta W \\ \Delta U \end{Bmatrix} + \Delta \lambda \Theta \begin{Bmatrix} W \\ U \end{Bmatrix} \quad (3)$$

где $\begin{Bmatrix} \Delta W \\ \Delta U \end{Bmatrix}$ – столбец неизвестных метода конечных разностей (собственная функция); λ – собственное значение; A , B и Θ – матрицы коэффициентов алгебраической задачи; $\Delta \lambda$ – приращение грузового члена системы, а W и U – суммарные перемещения.

В качестве параметра нагрузки в условиях кинематического нагружения примем вертикальное перемещение основания под фундаментной плитой W_0 .

Тогда эпюры перемещений W и U , при $W_0 = 0.125\text{м}$ в конечно-разностной сетке области интегрирования (рис. 4), по оси «х» 72 узла, по оси «у» 36 узлов на половине области интегрирования будут иметь вид (рис. 5а, б).

Эпюра вертикальных напряжений σ_z показана на рис. 6в. На рис. 6г показана эпюра $\sin(\theta_{\max})$.

На основе графиков зависимости угла внутреннего трения и общего сцепления от влажности построены области предельного напряженного состояния грунтового основания (рис. 7) с учетом нелинейной зависимости угла внутреннего трения от влажности (рис. 2).

Таблица 1

Результаты расчета областей предельного состояния	Рис. 7а	Рис. 7б	Рис. 7в
Влажность грунтового основания Ω %	30	35	36
Угол внутреннего трения φ град	22	14	13.5
Коэффициент сцепления с кПа	300	125	90
Критическая влажность образования пластического шарнира по фундаментной плитой	$\Omega_{кр} = 36\%$		

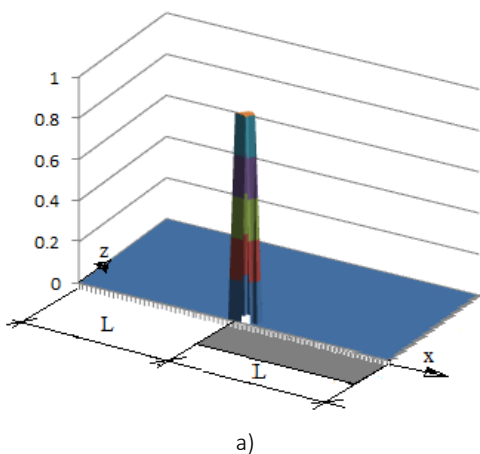
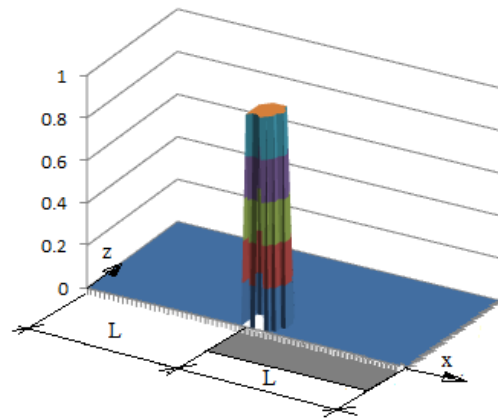
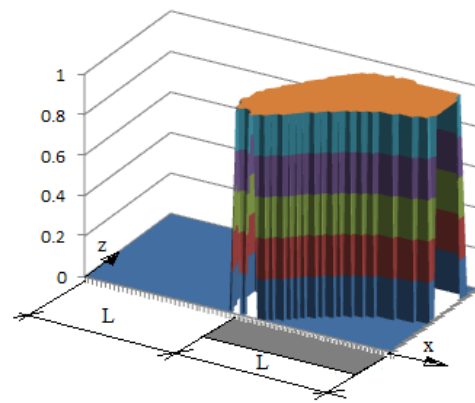


Рис. 7. Развитие областей предельного напряженного состояния грунтового основания (начало)



б)



в)

Рис. 7. Развитие областей предельного напряженного состояния грунтового основания (окончание)

В качестве коэффициента запаса устойчивости здесь можно рассматривать отношение существующей влажности грунта к минимальной влажности, при которой развитие предельных областей напряженного состояния не обеспечивают устойчивости грунтового массива (рис. 8).

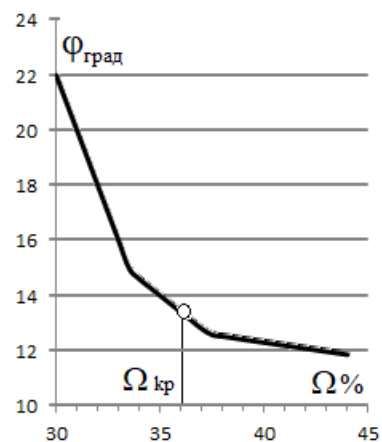


Рис. 8. Критическое значение влажности грунтового основания



Заключение. Критерий устойчивости с позиций механики грунтов показывает возможность учета изменения влажности грунтового основания и нелинейную зависимость снижения прочностных характеристик грунта (сцепления и угла внутреннего трения) от влажности. Этот критерий позволяет оценить критическое значение влажности грунтового основания, после которого устойчивость вертикального равновесного состояния высотного объекта не обеспечена.

Список источников

1. phi с reduction plaxis.
2. Строкова Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т.313. №1. С. 69-74.
3. Голубев А.И., Селецкий А.В. К вопросу о выборе модели грунта для геотехнических расчетов // Актуальные

научно-технические проблемы современной геотехники. Том 2. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2009. С. 6-10.

4. Brinkgreve, R.B.J. & P.A. Vermeer 1998. PLAXIS: Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, Version 7. Balkema

5. Соколич И., Вукадинович Б. Анализ параметров грунта по результатам перемещений шпунтовой стенки // Развитие городов и геотехническое строительство. 2008. № 12. С. 201-207.

6. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства/ Н.Н. Маслов. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.

7. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. - М.: Недра, 1985. 342 с.

8. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов: учебное пособие. - М.: АСВ, 2005. 488с.

9. Задачи по прикладной математике / Л. Коллатц, Ю. Альбрехт; пер. с нем. С.Н. Киро под ред. Х.Д. Икрамова. - М.: Мир, 1978. 167 с.

10. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. — М.: Госуд. изд-во технико-теорет. литературы, 1955. 476 с.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_2_57

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА УСИЛЕНИЯ СТЕН
МНОГОЭТАЖНОГО КАМЕННОГО ЗДАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ**

© Авторы 2022
SPIN: 1721-2206
AuthorID: 653207

ПИКСАЙКИНА Анна Александровна, кандидат экономических наук,
доцент кафедры “Строительные материалы и технологии”

SPIN: 4583-2960
AuthorID: 660234

ЛАЗАРЕВ Александр Львович, кандидат технических наук,
доцент кафедры “Строительные материалы и технологии”

БУСАРГИН Дмитрий Александрович, магистрант
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
(430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68, e-mail: busargin20@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрена перспективность использования стеклопластиковой арматуры для усиления кирпичных элементов зданий и сооружений. Реконструкция зданий и сооружений зачастую связана с увеличением действующих нагрузок. В работе рассмотрен пример, в котором рассчитан простенок многоэтажного каменного здания и как результат принято решение об усилении. Рассмотрено два варианта усиления простенка поперечным армированием из стальной и стеклопластиковой арматуры. Проведено сравнение приведенных выше вариаций и сделан вывод.

Ключевые слова: простенок, конструкция, стеклопластиковая арматура, стальная арматура, кирпич, строительная отрасль

Для цитирования: Пиксайкина А.А., Лазарев А.Л., Бусаргин Д.А. Сравнительный анализ результатов расчета усиления стен многоэтажного каменного здания поперечным армированием из стеклопластиковой и стальной арматуры // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 57-65. doi:10.51608/26867818_2022_2_57.

Original article

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF CALCULATING THE REINFORCEMENT
OF THE WALLS OF A MULTI-STORY STONE BUILDING WITH TRANSVERSE REINFORCEMENT MADE
OF FIBERGLASS AND STEEL REINFORCEMENT**

© The Authors 2022

PIKSAIKINA Anna Aleksandrovna, Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department “Building Materials and Technologies”

LAZAREV Alexander Lvovich, candidate of technical sciences,
Associate Professor of the Department “Building Materials and Technologies”

BUSARGIN Dmitry Alexandrovich, undergraduate
Mordovian State University N.P. Ogaryova
(430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68, e-mail: busargin20@mail.ru)

Annotation. The prospects of using fiberglass brace strengthening brick elements of buildings and structures are considered. Reconstruction of buildings and structures is often associated with an increase in operating loads. The paper examines an example in which the wall of a multi-storey stone building was calculated and a decision was made to strengthen it. Two options for strengthening the pro-wall with transverse reinforcement of steel and fiberglass reinforcement are considered. The above variations are compared and conclusion is drawn.



Keywords: wall, construction, fiberglass reinforcement, steel reinforcement, brick

For citation: Piksaikina A.A., Lazarev A.L., Busargin D.A. Comparative analysis of the results of calculating the reinforcement of the walls of a multi-storey stone building with transverse reinforcement made of fiberglass and steel reinforcement // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 57-65. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_57.

Реконструкция зданий и сооружений зачастую связана с проведением необходимых перепланировок, что связано, как правило с увеличением нагрузок. В этом случае необходимо проектирование методов усиления конструкций и проведение расчетов строительных конструкций с учетом совместной работы усиливаемых элементов и элементов усиления. В качестве перспективного материала для усиления различных конструктивных элементов используются различные типы стеклопластиков [1, 2, 17].

Стеклопластик, как материал ведет свою историю с 1870 г., когда была изобретена технология промышленного производства стекловолокна при помощи мощной струи пара. В 1936 году была запатентована технология получения полиэфирной смолы. Это время можно считать началом в развитии стеклопластика.

Изучение свойств и применение данного материала в нашей стране началось с 60-х годов прошлого века. Стеклопластик применялся в конструкциях из легких бетонов; при армировании свай, балок, фундаментов, конструкций пола, бетонных мостов [8, 22] и т.д.

Цель работы состояла в оценке целесообразности использования стеклопластиковой арматуры для усиления кирпичных элементов многоэтажного здания.

Для изготовления стеклопластиковой арматуры используют различные виды синтетических смол и в большей степени эпоксидных [2, 24]. В последнее время разработаны составы полимерных композиций на основе более дешевых полиэфиракрилатных, винилэфирных [9–11] и других смол.

Задачи исследований:

1. Рассмотреть пример оценки методов усиления кирпичной кладки многоэтажного здания;
2. Запроектировать усиление кирпичной кладки с помощью металлической и стеклопластиковой арматуры;
3. Выполнить расчеты усиленных элементов по предельным состояниям;
4. Провести сравнение элементов усиления с применением металлической и стальной арматуры по экономическим показателям.

В качестве объекта рассматривали 9-этажный односекционный 27-квартирный жилой дом, расположенный по адресу ул. Старопосадская, г. Саранск, Республика Мордовия (рисунок 1), кладочный план первого этажа которого приведен на рисунке 2.

В качестве элементов усиления рассматривались:

– кирпичная кладка (рабочий простенок).

Расчет элементов конструкций многоэтажного каменного здания [10]

Исходные данные:

– размеры здания в плане: длина – 14,62 м, ширина – 16,55 м;

– ширина наружной стены $h=38\text{см}$;

– количество этажей $n=9$;

– высота этажа $H_{эм}=3\text{м}$;

– временная нормативная нагрузка на перекрытие $u=1,625\text{кН/м}^2$;

– количество оконных проемов в пролете – $l_2=7,31$; $n_{ок}=2$;

– ширина и высота оконного проема $b_{он1} \times h_{он1}=1,69 \times 1,6\text{м}$; $b_{он2} \times h_{он2}=1,69 \times 1,6\text{м}$;

– снеговая нагрузка (Район строительства – Саранск (III) – $s_g=1,6\text{кН/м}^2$).

Расчет простенка первого этажа [10]

Ширина и длина пролета (рисунок 3):

$$l_1=6,81\text{м}; l_2=7,31\text{м}.$$

Нормативная нагрузка от веса 1м^2 стены равна:

$$(h_{cm} \cdot \rho_{cm} + h_{um} \cdot \rho_{um}) \cdot 1 = (0,38 \cdot 18 + 0,02 \cdot 22) \cdot 1 = 7,28\text{кН/м}^2,$$

где $h_{cm}=0,38\text{м}$ – толщина стены, $h_{um}=0,02$ – толщина штукатурки; $\rho_{cm}=18\text{кН/м}^3$ – средняя плотность каменной кладки; $\rho_{um}=22\text{кН/м}^3$ – средняя плотность штукатурки.

Ширина рабочего простенка: $b_{np}=1,94\text{м}$.

Грузовая площадь покрытия равна:

$$A = (0,5 \cdot l_1 + h_{cm} - 0,19) \cdot l_2 = \\ = (0,5 \cdot 6,81 + 0,38 - 0,19) \cdot 7,31 = 26,27\text{м}^2.$$

Грузовая площадь перекрытия равна:

$$A = (0,5 \cdot l_1 - 0,19) \cdot l_2 = (0,5 \cdot 6,81 - 0,19) \cdot 7,31 = 23,5\text{м}^2.$$

Грузовая площадь стены одного этажа равна (рисунок 4):

$$A = (b_{np} + b_{он1} + b_{он2}) \cdot H_{эм} - b_{он1} \cdot h_{он1} - b_{он2} \cdot h_{он2} = \\ = (1,94 + 1,69 + 1,69) \cdot 3 - 1,69 \cdot 1,6 - 1,69 \cdot 1,6 = 10,55\text{м}^2.$$

Грузовая площадь надоконного участка равна (рисунок 4):

$$A = (b_{np} + b_{он1} + b_{он2}) \cdot \gamma = (1,94 + 1,69 + 1,69) \cdot 1,1 = 5,85\text{м}^2.$$

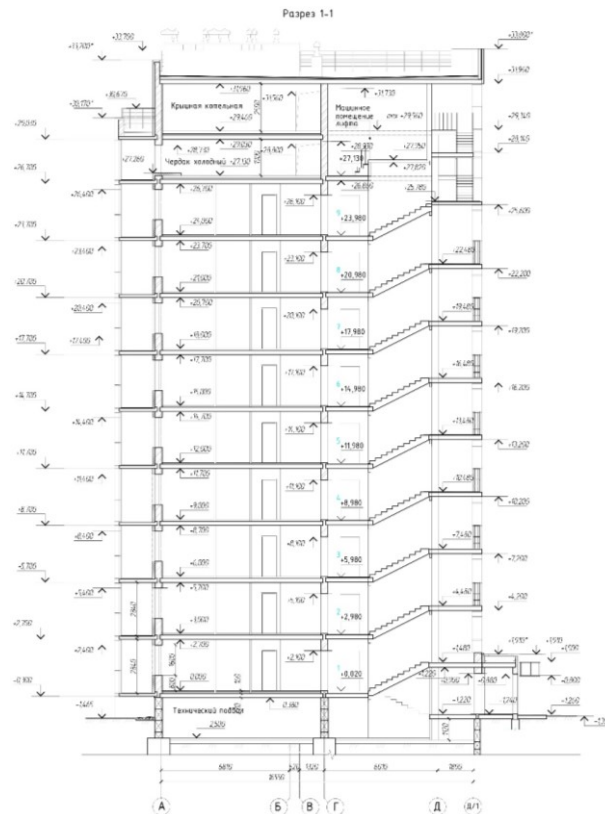


Рис. 1. Продольный разрез жилого дома

Кладочный план 1 этажа

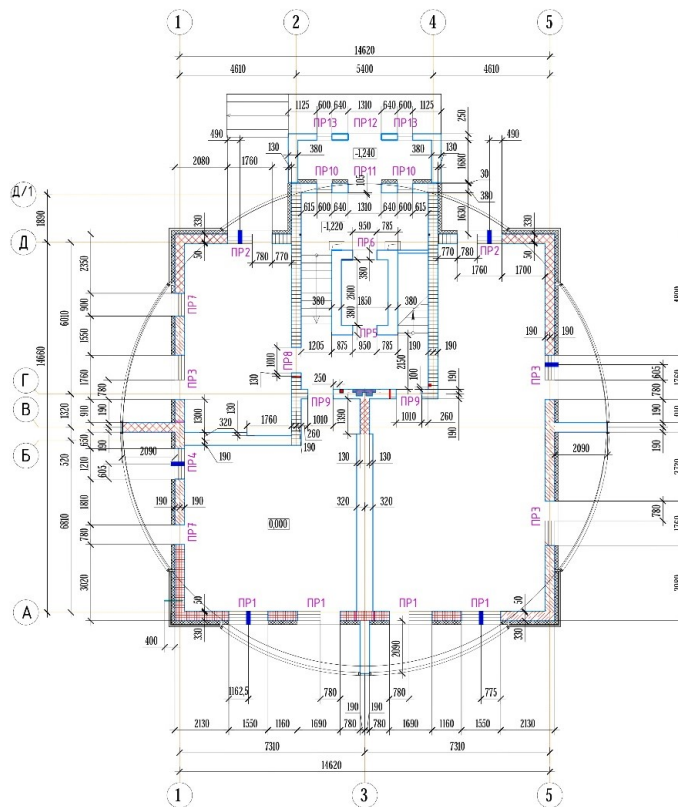


Рис. 2. Кладочный план 1-го этажа



Таблица 1 – Сбор нагрузок на простенок

Вид нагрузок	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэффициент надежности	Расчетная нагрузка, кН/м ²	Грузовая площадь, м ²	Нагрузка на простенок, кН
<i>Нагрузка от покрытия:</i>					
постоянная от веса сборной ж/б плиты	5,5	1,1	6,05	26,27	158,93
от кровли	3	1,3	3,9	26,27	102,453
снеговая	1,6	1,4	2,24	26,27	58,84
					$N = 320,22$
<i>Нагрузка от перекрытия:</i>					
постоянная от веса сборной ж/б плиты	5,5	1,1	6,05	23,5	142,2
от пола	1,2	1,3	1,56	23,5	36,7
временная от перекрытия	1,625	1,2	1,95	23,5	45,82
					$F = 224,7$
Собственный вес стены одного этажа с учетом штукатурки	7,28	1,1	8,01	10,55	$N_{cm} = 84,5$
Вес надоконного участка	7,28	1,1	8,01	5,85	$N_{ny} = 46,86$

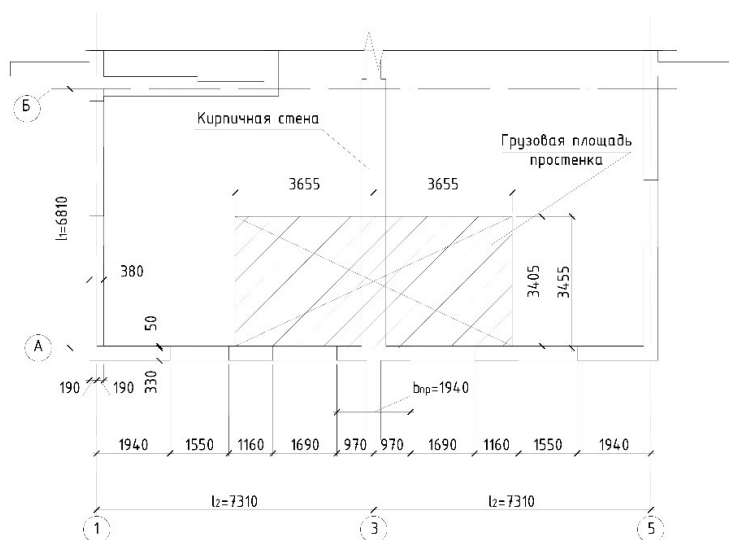


Рис. 3. Фрагмент кладочного плана

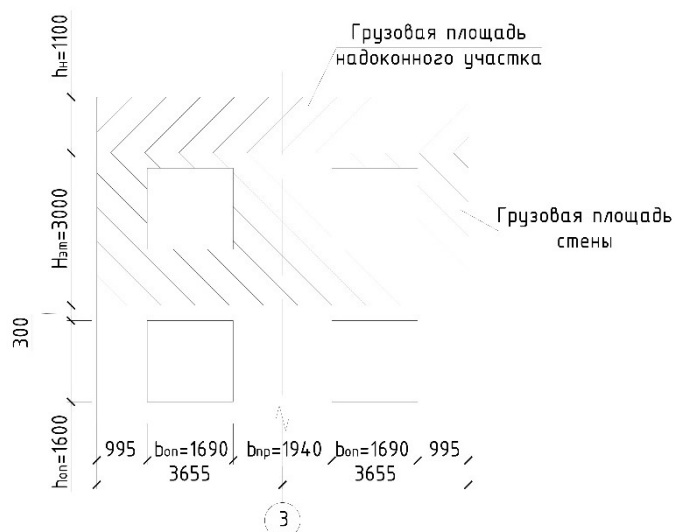


Рис. 4. Грузовая площадь участков стен, принимаемых в расчет



Определение расчетных усилий [10]

Собственный вес стены всех вышележащих в уровне пола второго этажа:

$$N_{2-2} = N_{ny} + (n-1) \cdot N_{cm} = 46,86 + (9-1) \cdot 84,5 = 722,86 \text{ кН},$$

где $n = 9$ – количество этажей здания.

Нагрузка от покрытия и перекрытий вышележащих этажей:

$$F_{2-2} = N + (n-2) \cdot F = 320,22 + (9-2) \cdot 224,7 = 1893,12 \text{ кН}.$$

Общая нагрузка:

$$N_2 = N_{2-2} + F_{2-2} = 722,86 + 1893,12 = 2615,98 \text{ кН}.$$

Расчетная продольная сила в сечении 1-1:

$$N_{1-1} = N_2 + F = 2615,98 + 224,7 = 2840,68 \text{ кН}.$$

где $F = 224,7$ кН – нагрузка от перекрытия над первым этажом.

Эксцентриситет силы F относительно центра тяжести стены e_1 (рисунок 5):

$c = 190$ мм – глубина заделки плиты перекрытия в кирпичную стену;

$$e = \frac{c}{3} = \frac{0,19}{3} = 0,06 \text{ м} < 0,7 \text{ м}, \text{ поэтому принимаем}$$

$$e = 0,6 \text{ м}.$$

$$e_1 = 0,5 \cdot h - e = 0,5 \cdot 0,38 - 0,06 = 0,13 \text{ м}.$$

Максимальный момент от силы F :

$$M = F \cdot e_1 = 224,7 \cdot 0,13 = 29,21 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент в сечении 1-1, проходящий по низу оконной перемычки равен:

$$M_{1-1} = M \cdot \frac{H_1}{H_{эм}} = 29,21 \cdot \frac{2,7}{3} = 26,29 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетные характеристики кладки [10]

Принимаем кирпич керамический пустотелый утолщенный марки 175 и цементно-песчаный раствор марки 150 [6]. По таблице 2 СП 15.13330.2012 [12] находим расчетное сопротивление кладки $R = 2,7$ МПа, а по таблице 16 СП 15.13330.2012 [12] упругую характеристику кладки $\alpha = 1000$.

Расчетный эксцентриситет в сечении 1-1:

$$e_0 = \frac{M_{1-1}}{N_{1-1}} = \frac{26,29}{2840,68} = 0,01 \text{ м}.$$

Высоту сжатой части стены находим по формуле:

$$h_c = h - 2 \cdot e_0 = 0,38 - 2 \cdot 0,01 = 0,36 \text{ м}.$$

Определяем гибкость простенка по формуле:

$$\lambda_h = \frac{l_0}{h} = \frac{3}{0,38} = 7,89,$$

где l_0 – расчетная длина простенка, зависящая от вида его закрепления (при шарнирном закреплении $l_0 = H_{эм} = 3 \text{ м}, h = 38 \text{ см}$ – толщина стены).

Коэффициент продольного изгиба находим по таблице 19 СП 15.13330.2012 $\varphi = 0,9222$ [12].

Гибкость сжатой части сечения:

$$\lambda_{hc} = \frac{H_{эм}}{h_c} = \frac{3}{0,36} = 8,33,$$

тогда коэффициент продольного изгиба сжатой части сечения равен $\varphi_c = 0,91$.

Коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии равен:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,9222 + 0,91}{2} = 0,9161.$$

Площадь сжатой части сечения простенка:

$$A_c = h_c \cdot b_{np} = 0,36 \cdot 1,94 = 0,7 \text{ м}^2.$$

Определим коэффициент ω по таблице 20 СП 15.13330.2012 [12]:

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{h} = 1 + \frac{0,01}{0,38} = 1,03 \leq 1,45 \text{ – условие выполняется, принимаем } \omega = 1,03.$$

Коэффициент, учитывающий длительность действующей нагрузки $m_{g1} = 1$, так как $h = 0,38 > 0,3 \text{ м}$.

Находим несущую способность внецентренно сжатого простенка в сечении 1-1 по формуле:

$$N \leq m_{g1} \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot \omega,$$

$$N_{1-1} = 2840,68 \text{ кН} \geq 1 \cdot 0,9161 \cdot 2,7 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 10^3 = 1783,37 \text{ кН} \text{ –}$$

условие не выполняется; в следствии чего вывод: внешняя нагрузка больше несущей способности простенка, значит необходимо его усиление.

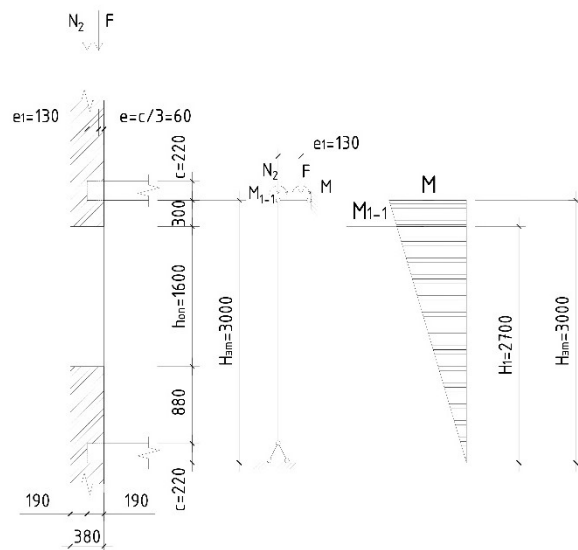


Рис. 5. Конструктивная и расчетная схемы рабочего простенка, эпюра моментов

Усиление простенка поперечным армированием из стальной арматуры класса В500 [10]

Проверяем условие эффективности применения поперечного армирования:

– средняя высота ряда кладки $100 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$;

– расчетный эксцентриситет

$$e_0 = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм} < 0,17h = 0,17 \cdot 380 = 64,6 \text{ мм};$$

– гибкость простенка $\lambda_h = 7,89 < 15$.



Армируем сетками из арматуры класса В500. Расчетное сопротивление арматуры $R_s = 415 \text{ МПа}$ по таблице 6.14 СП 63.13330.2018 [13]. Нормативное сопротивление арматуры $R_{sn} = 500 \text{ МПа}$ по таблице 6.14 СП 63.13330.2018 [13]. Диаметр арматуры принимаем 5 мм, тогда площадь поперечного сечения одного стержня $A_{st} = 0,196 \text{ см}^2$ по таблице приложения 2 ГОСТ 6727-80 [7]. Размер ячейки предварительно принимаем 5 см. Коэффициент условий работы арматуры каменной кладки $\gamma_{cs} = 0,6$ по таблице 14 СП 15.13330.2012 [12].

Тогда, расчетное сопротивление арматуры каменной кладки с учетом коэффициента условий работы:

$$R_s = R_s \cdot \gamma_{cs} = 415 \cdot 0,6 = 249 \text{ МПа.}$$

Нормативное сопротивление арматуры каменной кладки с учетом коэффициента условий работы:

$$R_{sn} = R_{sn} \cdot \gamma_{cs} = 500 \cdot 0,6 = 300 \text{ МПа.}$$

Принимаем предварительно коэффициент продольного изгиба равным $\varphi_1 = 0,9161$.

Требуемое расчетное сопротивление сжатию армированной кладки:

$$R_{skb} = \frac{N}{m_{g1} \cdot \varphi_1 \cdot A_c \cdot \omega} = \frac{2840,68}{1 \cdot 0,9161 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 10^3} = 4,3 \text{ МПа,}$$

$R_{skb} = 4,3 \text{ МПа} \leq 2R = 2 \cdot 2,7 = 5,4 \text{ МПа}$ – условие выполняется.

Требуемый процент армирования кладки:

$$\mu = \frac{50 \cdot (R_{skb} - R)}{R_s \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{y}\right)} = \frac{50 \cdot (4,33 - 2,7)}{249 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right)} = 0,36 \%,$$

где $y = 0,5h = 0,5 \cdot 0,38 = 0,19 \text{ м}$.

Находим расчетный шаг арматурных сеток:

$$s = \left(\frac{2A_{st}}{\mu \cdot c}\right) \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,196 \cdot 100}{0,36 \cdot 5} = 21,78.$$

Ставим стеки через 2 ряда кладки с шагом $S = 2 \cdot 10 = 20 \text{ см}$.

Проверка прочности армированного простенка [10]

Фактический процент армирования кладки:

$$\mu = \left(\frac{2A_{st}}{S \cdot c}\right) \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,196 \cdot 100}{20 \cdot 5} = 0,4 \%.$$

Максимальный процент армирования кладки:

$$\mu = \frac{50 \cdot R}{R_s \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{y}\right)} = \frac{50 \cdot 2,7}{249 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right)} = 0,61 \%.$$

Процент армирования кладки μ должен находиться в пределах:

$$\mu_{max} = 0,61 \% \geq \mu = 0,4 \geq \mu_{min} = 0,1 \%.$$

Временное сопротивление сжатию неармированной кладки:

$$R_u = k \cdot R = 2 \cdot 2,7 = 5,4 \text{ МПа,}$$

где $k = 2$ по таблице 15 СП 15.13330.2012 [12].

Временное сопротивление сжатию армированной кладки:

$$R_{sku} = k \cdot R + \frac{2\mu \cdot R_{sn}}{100} = 2 \cdot 2,7 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 300}{100} = 7,8 \text{ МПа.}$$

Упругая характеристика армированной кладки:

$$\alpha_{sk} = \frac{\alpha \cdot R_u}{R_{sku}} = \frac{1000 \cdot 5,4}{7,8} = 692,3 \approx 692;$$

Гибкость простенка: $\lambda_h = 7,89$;

Гибкость сжатой части сечения: $\lambda_{hc} = 8,33$.

Определяем φ методом интерполяции:

– при $\alpha = 692$ и $\lambda_h = 7,89$, $\varphi = 0,891$;

– при $\alpha = 692$ и $\lambda_{hc} = 8,33$, $\varphi_c = 0,878$.

Коэффициент продольного изгиба армированной кладки равен:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,891 + 0,878}{2} = 0,8845.$$

Расчетное сопротивление армированной кладки:

$$R_{skb} = R + \frac{2\mu \cdot R_s}{100} \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{y}\right) = 2,7 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 249}{100} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right) = 4,48 \text{ МПа.}$$

Проверяем выполнения условия. Несущая способность армированной внецентренно сжатой кладки:

$$N \leq m_{g1} \cdot \varphi_1 \cdot R_{skb} \cdot A_c \cdot \omega,$$

$$N_{1-1} = 2840,68 \text{ кН} \leq 1 \cdot 0,8845 \cdot 4,48 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 10^3 = 2857 \text{ кН}$$

– условие выполняется.

Относительный эксцентриситет:

$$e_0 = 0,01 \text{ м} < 0,7y = 0,7 \cdot 0,19 = 0,133 \text{ м,}$$

поэтому расчет по второй группе предельных состояний не требуется.

$$\text{Запас прочности: } \frac{2857 - 2840,68}{2840,68} \cdot 100 = 1 \%.$$

Усиление простенка поперечным армированием из стеклопластиковой арматуры АКП-СП [10, 11]

Проверяем условие эффективности применения поперечного армирования:

– средняя высота ряда кладки $100 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$;

– расчетный эксцентриситет

$$e_0 = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм} < 0,17h = 0,17 \cdot 380 = 64,6 \text{ мм} ;$$

– гибкость простенка $\lambda_h = 7,89 < 15$.

Армируем сетками из стеклопластиковой арматуры АКП-СП. Расчетное сопротивление арматуры $R_s = 1000 \text{ МПа}$ по таблице 3 Фролов Н.П. “Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции” [19].

Нормативное сопротивление арматуры $R_{sn} = 1200 \text{ МПа}$ по таблице 3 Фролов Н.П. “Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции” [19]. Диаметр арматуры принимаем 4 мм, тогда площадь поперечного сечения одного стержня



$A_{st} = 0,108 \text{ см}^2$ по таблице 3.2 ТУ 2296-001-30604944-2012 [17]. Размер ячейки предварительно принимаем 6 см. Коэффициент условий работы арматуры каменной кладки $\gamma_{cs} = 0,6$ по таблице 14 СП 15.13330.2012 [12].

Тогда, расчетное сопротивление арматуры каменной кладки с учетом коэффициента условий работы:

$$R_s = R_s \cdot \gamma_{cs} = 1000 \cdot 0,6 = 600 \text{ МПа.}$$

Нормативное сопротивление арматуры каменной кладки с учетом коэффициента условий работы:

$$R_{sn} = R_{sn} \cdot \gamma_{cs} = 1200 \cdot 0,6 = 720 \text{ МПа.}$$

Принимаем предварительно коэффициент продольного изгиба равным $\varphi_1 = 0,9161$.

Требуемое расчетное сопротивление сжатию армированной кладки:

$$R_{skb} = \frac{N}{m_{g1} \cdot \varphi_1 \cdot A_c \cdot \omega} = \frac{2840,68}{1 \cdot 0,9161 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 10^3} = 4,3 \text{ МПа,}$$

$R_{skb} = 4,3 \text{ МПа} \leq 2 \cdot 2,7 = 5,4 \text{ МПа}$ – условие выполняется.

Требуемый процент армирования кладки:

$$\mu = \frac{50 \cdot (R_{skb} - R)}{R_s \cdot \left(1 - \frac{2\epsilon_0}{y}\right)} = \frac{50 \cdot (4,3 - 2,7)}{600 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right)} = 0,15 \%,$$

где $y = 0,5h = 0,5 \cdot 0,38 = 0,19 \text{ м}$.

Находим расчетный шаг арматурных сеток:

$$S = \left(\frac{2A_{st}}{\mu \cdot c}\right) \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,196 \cdot 100}{0,15 \cdot 6} = 43,55.$$

Ставим стеки через 4 ряда кладки с шагом

$$S = 4 \cdot 10 = 40 \text{ см.}$$

Проверка прочности армированного простенка [10]

Фактический процент армирования кладки:

$$\mu = \left(\frac{2A_{st}}{S \cdot c}\right) \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,196 \cdot 100}{40 \cdot 6} = 0,17 \%$$

Максимальный процент армирования кладки:

Схема армирования стальной арматурой (В500) простенка Схема армирования стеклопластиковой арматурой (АКП-СП) простенка

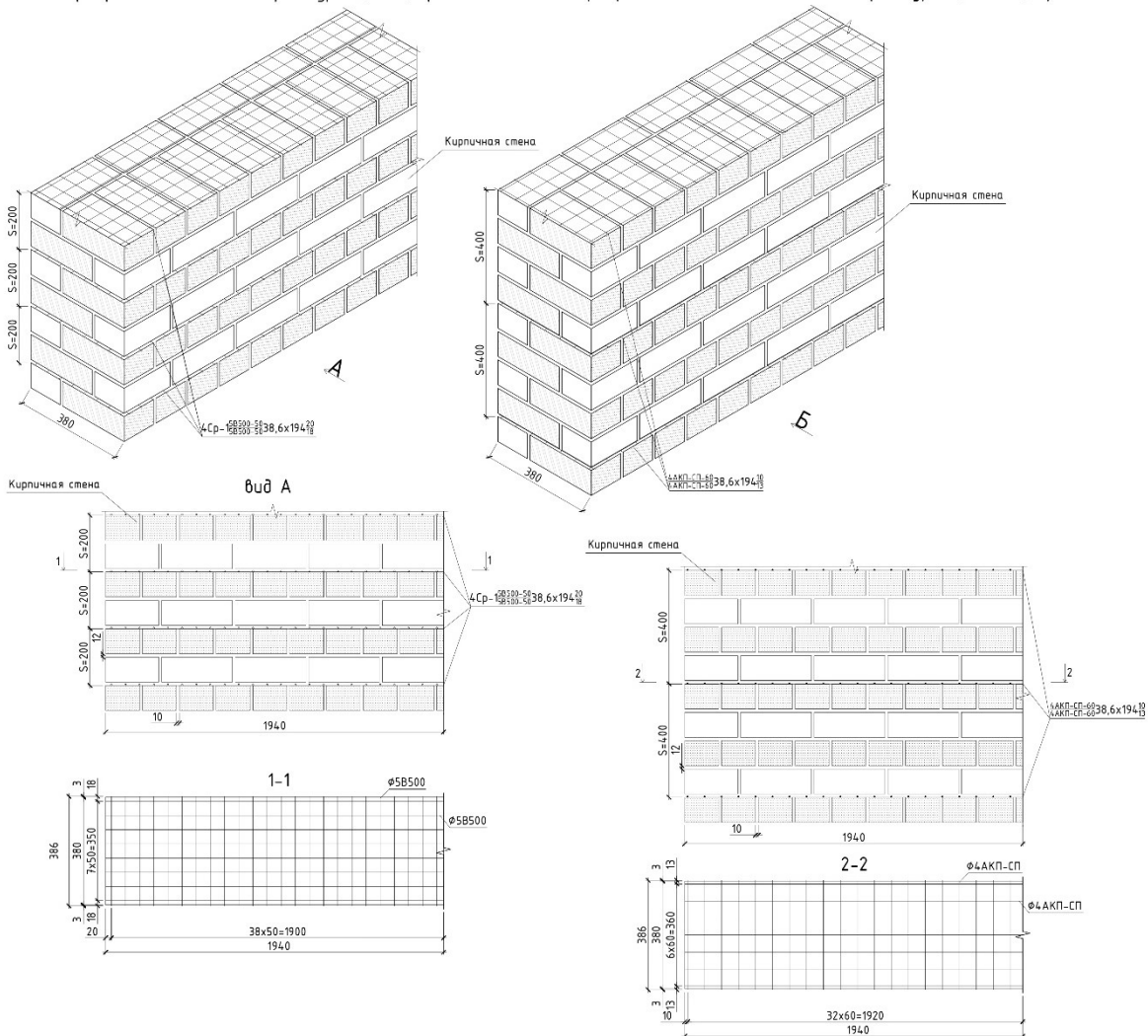


Рис. 6. Схемы армирования стальной арматурой (В500) и стеклопластиковой (АКП-СП) простенка



$$\mu = \frac{50 \cdot R}{\left(R_s \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{y}\right)\right)} = \frac{50 \cdot 2,7}{\left(600 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right)\right)} = 0,25 \%$$

Процент армирования кладки μ должен находиться в пределах:

$$\mu_{max} = 0,25 \% \geq \mu = 0,17 \geq \mu_{min} = 0,1 \%$$

Временное сопротивление сжатию неармированной кладки:

$$R_u = k \cdot R = 2 \cdot 2,7 = 5,4 \text{ МПа},$$

где $k=2$ по таблице 15 СП 15.13330.2012 [12].

Временное сопротивление сжатию армированной кладки:

$$R_{sku} = k \cdot R + \frac{2\mu \cdot R_{sn}}{100} = 2 \cdot 2,7 + \frac{2 \cdot 0,17 \cdot 720}{100} = 2,45 \text{ МПа}.$$

Упругая характеристика армированной кладки:

$$\alpha_{sk} = \frac{\alpha \cdot R_u}{R_{sku}} = \frac{1000 \cdot 5,4}{2,45} \approx 2204;$$

так как в таблице 19 СП 15.13330.2012 [12] при определении коэффициента продольного изгиба $\varphi - \alpha_{max} = 1500$, а полученная упругая характеристика армированной кладки превышает это значение, то φ находим по $\alpha_{max} = 1500$.

Гибкость простенка: $\lambda_h = 7,89$;

Гибкость сжатой части сечения: $\lambda_{hc} = 8,33$.

Определяем φ методом интерполяции:

– при $\alpha = 1500$ и $\lambda_h = 7,89$, $\varphi = 0,952$;

– при $\alpha = 1500$ и $\lambda_{hc} = 8,33$, $\varphi_c = 0,945$.

Коэффициент продольного изгиба армированной кладки равен:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,952 + 0,945}{2} = 0,9485.$$

Расчетное сопротивление армированной кладки:

$$R_{skb} = R + \frac{2\mu \cdot R_s}{100} \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{y}\right) = 2,7 + \frac{2 \cdot 0,17 \cdot 600}{100} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,01}{0,19}\right) = 4,5 \text{ МПа}.$$

Проверяем выполнения условия. Несущая способность армированной внецентренно сжатой кладки:

$$N \leq m_{g1} \cdot \varphi_1 \cdot R_{skb} \cdot A_c \cdot \omega,$$

$N_{1-1} = 2840,68 \text{ кН} \leq 1 \cdot 0,9485 \cdot 4,5 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 10^3 = 3077,41 \text{ кН}$ – условие выполняется.

Относительный эксцентриситет:

$$e_0 = 0,01 \text{ м} < 0,7y = 0,7 \cdot 0,19 = 0,133 \text{ м},$$

поэтому расчет по второй группе предельных состояний не требуется.

$$\text{Запас прочности: } \frac{3077,41 - 2840,68}{2840,68} \cdot 100 = 8,3 \%$$

Таблица 2 – Сравнительная таблица стоимости стеклопластиковой и стальной арматуры

Арматура/ материал	Диаметр арматуры, мм	Стоимость 1 п. м., руб.
Стеклопластик/сталь А400	4,0/6,0	8,7/15,3
Стеклопластик/сталь А400	6,0/8,0	12,6/26,0
Стеклопластик/сталь А400	7,0/10,0	15,9/39,77
Стеклопластик/сталь А400	8,00/12,00	20,3/53,5
Стеклопластик/сталь А400	10,0/14,0	28,6/71,78
Стеклопластик/сталь А400	12,0/16,0	39,4/92,76
Стеклопластик/сталь А400	14,0/18,0	52,4/117,44
Стеклопластик/сталь А400	16,0/20,0	66,0/145,3
Стеклопластик/сталь А400	18,0/22,0	85,4/175,78
Стеклопластик/сталь А400	20,0/25,0	106,0/226,21
Стеклопластик/сталь В500	4,0/5,0	8,7/14,43

Выводы. Исходя из проведенных выше расчетов, можно смело сказать о том, что стеклопластиковую арматуру целесообразно применять для армирования кирпичной кладки. Т.к. по полученным результатам – размер ячейки сетки из стеклопластиковой арматуры 6 см, что больше на 1 см, чем размер ячейки сетки из стальной – это говорит нам о меньшем расходе арматуры; шаг сеток из стеклопластика – 4 ряда, а в сетках из стали всего 2 ряда, при этом запас прочности не просто сохраняется, а еще и возрастает в 8,3 раза; так как масса сетки из стеклопластика на 3,665 кг меньше, то выходит, что стальная сетка дороже сетки из стеклопластика на 121 рубль.

Список источников

1. Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М.: АСВ, 2013. 200 с.
2. Армированные каркасные композиты для зданий и сооружений: монография / В.Т. Ерофеев, В.И. Римшин [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 360 с.
3. Бетонные конструкции с неметаллическим армированием / Г.Ш. Салия, А.Л. Шагин. – М.: Стройиздат, 1990. 144 с.
4. Высокоармированный сталефибробетон / А.С. Бочарников, В.В. Прозоров // Энергетическое строительство. 1989. № 5. С. 30–32.
5. ГОСТ 31938-2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101115>
6. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100260>.
7. ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004104>
8. Композитная стеклопластиковая арматура. URL: <http://komplex-snab.ru/armatura-d10-d12-d14-d16/>
9. Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. 2012. №1. С. 22-31.



10. Оптимизация содержания отверждающих компонентов в винилэфирных композитах. / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. №5-2 (38). С. 427-433.
11. Оптимизация составов полиэфиракрилатных композитов / А.В. Мышкин, В.Т. Ерофеев // Региональная архитектура и строительство. 2013. №3. С. 56-61.
12. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М.: Высш. шк., 2009. 589 с.
13. Расчет элементов конструкций многоэтажного каменного здания: методические указания / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, К.В. Оськин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. 36 с.
14. Рекомендации к расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой / К.В. Зеленский [и др.] – М.: НИИЖБ, 1978. 21 с.
15. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*. – М.: Минрегион России, 2013. 86 с.
16. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52.01-2003. – М.: Минрегион России, 2018. 161 с.
17. Стеклопластиковая арматура в современном домостроении / В.А. Башара, В.Ф. Савин // Строительные материалы. 2000. № 4. С. 6–8.
18. Стеклопластиковые связи в теплозащитных стенах / В.Н. Иконников // Строит. газ. 2000. № 11. С. 9.
19. СТО 83269053-001-2010. Применение в транспортном строительстве неметаллической композитной арматуры периодического профиля. – Пермь: УралСпецАрматура, 2010. 58 с.
20. Технические условия. ТУ-2296-001-30604955-2012. Арматура композитная полимерная. URL: http://plast-komposit.ru/documents/gost/tu_2296_001_30604955_2013
21. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Кутузов. – М: Стройиздат, 2004. 144 с.
22. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
23. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts. Shafigullin, L.N., Bobrishev, A.A., Erofeev V.T., Treshchev A.A., Shafigullina, A.N. 2015. International Journal of Applied Engineering Research 10(23), p. 43758-43762
24. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбомидной смолами и аминопроизводными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: Палеотип, 2008. 244 с.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 21.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.



Обзорная статья

УДК 691

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2022_2_66

О СИБИРСКОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ НЕДЕЛЕ

© Автор 2022

SPIN: 6265-1517

AuthorID: 437079

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, академик РААСН,

доктор технических наук, профессор, ректор

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН)

(630008, Россия, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, e-mail: library@sibstrin.ru)

Аннотация. Накануне празднования дня российской науки в Новосибирске с 1 по 4 февраля 2022 года прошёл Международный форум-выставка «Сибирская строительная неделя» – отраслевое событие года в Сибирском федеральном округе. На площадке МВК «Новосибирск Экспоцентр» проведено расширенное заседание Правления Российского Союза строителей (РСС), Комиссии по вопросам ИЖС Общественного совета при Минстрое России, Национального объединения строителей (НОССТРОЙ), Национального объединения изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ), Союза архитекторов России (САР). В Форуме и расширенном заседании Правления РСС приняли активное участие застройщики, архитекторы, проектировщики, дизайнеры, урбанисты, поставщики строительных и отделочных материалов и техники, а также представители органов власти, ведущие ученые вузов и научных организаций для обсуждения общих проблем и для проработки предложений на перспективу по стратегическому развитию строительной отрасли.

Ключевые слова: СИБСТРИН, строительная отрасль, Сибирская строительная неделя, стратегическое развитие, строительная наука

Для цитирования: Сколубович Ю.Л. О сибирской строительной неделе // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 66-74. doi:10.51608/26867818_2022_2_66.

Review article

ABOUT SIBERIAN CONSTRUCTION WEEK

© The Author 2022

SKOLUBOVICH Yury Leonidovich, Academician of RAACS,

doctor of technical sciences, professor, rector

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN)

(630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya st., 113, e-mail: library@sibstrin.ru)

Annotation. On the eve of celebration of Russian Science Day in Novosibirsk (from 1 to 4 February 2022), the International Exhibition "Siberian Construction Week" was held in the Siberian Federal District. During the exhibition meetings of different construction associations were held, they included: an enlarged meeting of the Board of the Russian Union of Builders, the Commission on individual housing construction within Public Council of Ministry of Construction, the National Association of Builders, National Association of Prospectors and Designers, Union of Architects of Russia. The Forum and the expanded meeting of the Russian Union of Builders were actively attended by developers, architects, designers, urbanists, suppliers of materials and machinery as well as representatives of the authorities, leading scientists of universities and scientific organizations to discuss common problems and to develop proposals for the future strategic development of the construction industry.

Keywords: SIBSTRIN, construction industry, Siberian construction week, strategic development, construction science

For citation: Skolubovich Yu.L. About Siberian construction week // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 66-74. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_66.

СИБСТРИН – активный участник Сибирской строительной недели. В церемонии открытия «Сибирской строительной недели» приняли участие первый заместитель председателя комитета Совета Федерации по федеративному устройству, региональной политике, местному самоуправлению и де-



лам Севера Владимир Городецкий, заместитель министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ Сергей Музыченко, исполняющий обязанности министра строительства Новосибирской области Алексей Колмаков, вице-президент РСС Анвар Шамузафаров, президент НОПРИЗ Михаил Посохин и другие [1].

Во время VIP-обхода почетные гости ознакомились и с содержанием выставочной площадки Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

На стендах университета представлена информация о научных и инновационных разработках вуза, о возможностях, связанных с информационным моделированием в строительстве и архитектуре, о направлениях деятельности ведущих подразделений университета, в том числе: проектного института «Сибстринпроект», Института дополнительного образования, органа по сертификации продукции «Сибстрин-Сертификация», Испытательного центра строительных материалов и конструкций и других. Особенно гостей заинтересовала актуальная информация об основных отраслевых объединениях, созданных по инициативе НГАСУ (Сибстрин): Научно-образовательном консорциуме строительной отрасли Новосибирской области и Региональном академическом научно-образовательном центре РААСН.

Участие в выставке такого уровня позволило презентовать НГАСУ (Сибстрин) как ведущий отраслевой центр образования и науки в СФО и привлечь внимание участников регионального строительного рынка к образовательным программам, разработанным в университете, новым технологиям и высоко-

технологичной продукции. Большим спросом пользовались услуги Института дополнительного образования, проектного института «Сибстринпроект» и информационно-технологического центра «Сибстрин-инновация» – от ряда участников выставки (компаний «Сен-Гобен» – «КСЭТЭК», «Спектрум», «Салаватстекло», «Wienerberger» и др.) поступили конкретные предложения по сотрудничеству.

Также посетители «Сибирской строительной недели» отметили выставку концепций общественно-рекреационных пространств г. Новосибирска, подготовленную студентами институт архитектуры и градостроительства НГАСУ (Сибстрин). На площадке вуза работали руководители структурных подразделений, профессорско-преподавательский состав, аспиранты и студенты.

Центральным событием «Сибирской строительной недели» стал Форум «Сибирь 2030. Строим будущее», в рамках которого представители федеральных и региональных отраслевых министерств, а также всех профессиональных объединений отрасли и вузов обсудили инициативы по изменению в законодательстве, ценообразование, цифровизацию, развитие территорий и строительство новых городов.

В рамках деловой программы Форума прошло расширенное заседание Российского союза строителей с участием НОСТРОЙ, НОПРИЗ, Союза Архитекторов России, Союза проектировщиков России, а также представителей федеральных и региональных отраслевых министерств и ведомств.

С докладами на Форуме выступили:

- Вице-президент РСС **Шамузафаров Анвар Шамухамедович** «Стратегия развития строи-

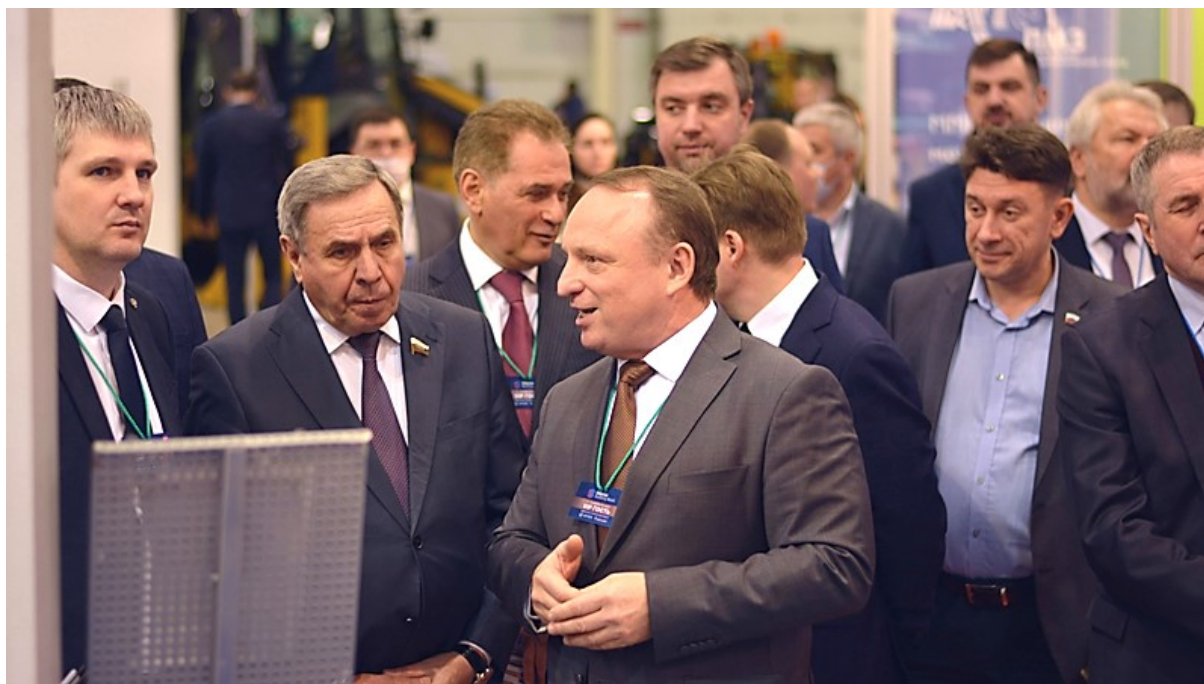


Фото 1. С сайта НГАСУ Сибстрин [1]



тельной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Предложения по разработке Программы её реализации»;

- Президент НОСТРОЙ **Глушков Антон Николаевич** «Реализация плана мероприятий по совершенствованию системы ценообразования в строительстве в Сибирском федеральном округе»;

- Президент НОПРИЗ, академик РААСН **Посохин Михаил Михайлович** «Градостроительный кодекс Российской Федерации и снижение регуляторного воздействия на деятельность СРО. Основные положения ФЗ №447»;

- Председатель Комитета по предпринимательству в сфере строительства ТПП России, руководитель Комиссии Общественного совета при Минстрое России по вопросам профессионального образования и кадрового потенциала, член Правления РСС, академик РААСН **Басин Ефим Владимирович** «О мерах по поднятию авторитета строительных специальностей»;

- проректор по научной работе Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) **Шпанко Сергей Николаевич** «Создание научно-исследовательского института по проблемам архитектуры, строительства и ЖКХ территорий Сибири и Дальнего Востока на базе НГАСУ (Сибстрин)»;

- профессор Тольяттинского государственного университета, советник РААСН, доктор технических наук, член Совета и Правления РСС **Анпилов Сергей Михайлович** «Применение современных инновационных технологий в строительстве»;

- Вице-президент РСС **Федорченко Максим Владиславович** «Повышение инвестиционной привлекательности и эффективности реализации проектов комплексного развития территорий»;

- Вице-президент РСС **Глушков Николай Сергеевич** «Профессионально-общественная аккредитация, как инструмент повышения качества профессионального образования в строительной отрасли» и другие.

Всего в выставке «Сибирская строительная неделя» приняли участие более 300 ведущих компаний из России, Европы, Китая, Турции, Средней Азии.

Кроме того, в рамках Сибирской строительной недели на площадке Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) состоялись несколько крупных отраслевых мероприятий, среди которых: Окружная конференция с участием замглавы Минстроя РФ С. Музыченко, руководителей НОСТРОЙ, НОПРИЗ и РСС, министерств строительства СФО, V Международная научно-практическая конференция «Качество. Технологии. Инновации», симпозиум «Наука – керамическому производству. Инновационные тех-

нологии для кирпичных заводов», семинар «Применение современных технологий в строительстве: легкие стальные тонкостенные конструкции» [1].

Окружная конференция. 1 февраля 2022 года в рамках Сибирской строительной недели на базе Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) состоялась Окружная конференция Министерств строительства Сибирского федерального округа с участием Минстроя РФ, Российского союза строителей, НОСТРОЙ и НОПРИЗ. Сопровождало заседание заместителя руководителя Минстроя РФ Сергея Музыченко и президента НОСТРОЙ Антона Глушкова.

В совещании участвовали вице-президенты Российского союза строителей Анвар Шамузафаров и Николай Глушков, руководитель совета АСОНО, координатор НОСТРОЙ по СФО, вице-президент Российского союза строителей Максим Федорченко, вице-президент НОСТРОЙ Антон Мороз, президент НОПРИЗ Михаил Посохин, вице-президент НОПРИЗ Азарий Лапидус, заместитель губернатора Новосибирской области Роман Теленчинов, исполняющий обязанности Министра строительства Новосибирской области Алексей Колмаков, Министр строительства Красноярского края Михаил Рабушко, Министр строительства, дорожного хозяйства Иркутской области Павел Писарев, представители СРО АСОНО.

Дистанционно к конференции подключились министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Алтайского края Иван Галиев, министр строительства Республики Тыва Аяс Хунай-Оол, заместитель начальника департамента архитектуры и строительства Томской области Алексей Федоров, заместитель министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Хакасия Алексей Филюшин.

Ректор рассказал присутствующим о работе НГАСУ (Сибстрин): аккредитации новых образовательных программ, участии в национальных проектах, в том числе по цифровизации, активном взаимодействии с организациями стройиндустрии и жилищно-коммунального комплекса и обозначил ряд задач, которые ставит перед собой ведущий отраслевой университет региона. Среди них – качественная подготовка кадров и развитие инновационной деятельности для обеспечения лидирующих позиций строительной отрасли СФО. Познакомил гостей университета с международной кафедрой ЮНЕСКО.

Справка. 02 октября 2015 года было подписано Соглашение между ЮНЕСКО и НГАСУ (Сибстрин) об учреждении Международная кафедра ЮНЕСКО «Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования» (UNESCO «Theory and technology of Environmental Safety in Water Resources Control»).



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



- UNESCO Chair on the Theory and Technology of Environmental Safety in Water Resources Control
- Novosibirsk, Russia

Фото 2.С сайта НГАСУ Сибстрин [1]

Кафедра организована для реализации в Сибирском Федеральном округе долгосрочных программ решения региональных и глобальных проблем в области природообустройства и водопользования путем совместной деятельности с другими российскими и зарубежными научными и образовательными учреждениями по проведению научно-исследовательской, инновационной деятельности в области природообустройства и водопользования и внедрения в реальный сектор экономики результатов передовых фундаментальных и прикладных исследований[1].

Докладчик подчеркнул, что для решения обозначенных задач необходима поддержка федерального Минстроя и профессионального сообщества. **В частности, в реализации таких проектов, как создание регионального информационно-аналитического центра инноваций в строительстве и Сибирского научно-исследовательского института развития строительного комплекса.**

Ключевыми на Окружной конференции стали актуальные для российской и региональной строительной отрасли темы, среди которых обеспечение кадрового потенциала, рост стоимости материалов, территориальное планирование, исполнение государственных и муниципальных контрактов и другие. С докладами выступили все участвующие в мероприятии представители министерств и ведомств Сибирского федерального округа [1].

Качество. Технологии. Инновации. 2-4 февраля 2022 года в НГАСУ (Сибстрин) ученые и производственники обсудили перспективы отрасли строительных материалов в рамках V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации».

Организатором выступили кафедра Строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин) и лакокрасочный завод «Колорит» (г. Новосибирск).



Фото 3.С сайта НГАСУ Сибстрин [1]



Фото 4.С сайта НГАСУ Сибстрин [1]

Ведущие ученые, представители вузов и производства из Новосибирска, Москвы, Тольятти, Барнаула, Томска, Омска, Новокузнецка, Кемерово, Кызыла, Ханты-Мансийска, Краснодара, а также (в онлайн-режиме) зарубежные участники из Германии, Белоруссии, Монголии, Казахстана, Узбекистана на протяжении нескольких дней заслушивали и обсуждали доклады, обменивались знаниями и опытом. Для этого в рамках конференции прошли пленарное заседание и заседания секций, экскурсии в лаборатории НГАСУ (Сибстрин) и практические мастер-классы.

С приветственным словом к участникам обратились ректор НГАСУ (Сибстрин) Юрий Сколубович, профессор Тольяттинского государственного университета Сергей Анпилов. Он подарил в библиотеку университета авторские учебные пособия и научные издания: «Опалубочные системы для монолитного строительства» [3], «Применение нормативно-технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений с использованием ЛСТК и настила армирующего «БИЗОН» [4], «Пути прогресса и развития в науке» [6], «Свободный полет» [8], «Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона» [9], выпуски научно-практического журнала «Эксперт: теория и

практика». Затем с приветствием обратились директор лакокрасочного завода «Колорит» Александр Туляганов и заведующая кафедрой СМСС НГАСУ (Сибстрин) Ольга Смирнова.

Открыл пленарное заседание конференции советник РААСН, доктор технических наук, профессор Сергей Анпилов с интересным докладом «Применение современных технологий в строительном материаловедении».

Круг тем конференции отражал актуальные проблемы и современные тренды отрасли строительных материалов, в частности: расширение сырьевой базы производства, применение инновационных экологически безопасных ресурсо- и энергосберегающих материалов и технологий в строительстве, реализация перспективных научно-технических проектов для обеспечения и создания нового поколения материалов, управление и контроль качества строительных материалов и технологий, современные материалы для дорожного строительства и др.

«Эта конференция стала пятой и интерес к ней, количество и география участников постоянно растут. Программа получилась насыщенной и познавательной. Помимо традиционных, она включала новые направления развития отрасли строительных материалов, такие как различные защитные нанопо-



крытия и 3D моделирование в материаловедении, – рассказала организатор V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации», заведующая кафедрой СМСС НГАСУ (Сибстрин) Ольга Смирнова. Хочется выделить инновационный доклад доктора геолого-минералогических наук, профессора НГАСУ (Сибстрин) Нины Стениной «Природный ресурс для разработки новых строительных технологий» [5]. Также можно отметить выступление доктора технических наук, профессора СГУПС Михаила Шахова на тему «Влияние режимов активации жидкости затворения на прочность цементного камня» [2] и актуальный доклад представителей НГАУ: доктора технических наук, профессора Анатолия Пичугина и кандидата технических наук, доцента Александра Пчельникова «Разработка эффективных наномодифицированных защитных покрытий» [7]. Генеральным партнером конференции «Качество. Технологии. Инновации» традиционно выступает ЛКЗ «Колорит», один из лидеров лакокрасочной отрасли России.

«Это важно, так как именно научная составляющая позволяет исследовать новые материалы, искать возможности использования вторичных ресурсов при производстве, чтобы наша лакокрасочная продукция была востребована на рынке и могла конкурировать с иностранными производителями» – подчеркивает директор завода Александр Туляганов. Кроме того, эта конференция усиливает влияние научного сообщества на сферу производства лакокрасочных и других строительных материалов, при-

влекает к этой теме и нашим проблема другие вузы и организации. С каждым годом ее география расширяется, появляются новые участники и качественно усиливаются доклады».

Отдельно хотелось бы отметить, что ЛКЗ «Колорит» не ограничивается помощью в организации конференции, а принимает активное участие в образовательной и научной деятельности кафедры Строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин). По итогам работы V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации» была принята резолюция. Все участники отметили качество представленных докладов и высокий уровень проведения мероприятия [1].

Применение современных технологий в строительстве. 2 февраля 2022 года в рамках Сибирской строительной недели в НГАСУ (Сибстрин) прошел семинар «Применение современных технологий в строительстве: легкие стальные тонкостенные конструкции», организованный кафедрой МДК.

Докладчиком на семинаре выступил Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель, советник РААСН, член Совета и Правления Российского союза строителей, доктор технических наук, профессор Тольяттинского государственного университета Сергей Анпилов.

Он представил презентацию, в которой рассказал различные аспекты внедрения технологии с применением ЛСТК (легких стальных тонкостенных конструкций), которая позволяет сделать строительство недорогим, быстрым и качественным.



Фото 5. С сайта НГАСУ Сибстрин [1]



Автором разработаны технологические и конструктивные решения, выполнены опытно-конструкторские исследования и технико-экономический анализ производства, подготовлены рекомендации по внедрению ЛСТК в строительстве. Предложена защищенная Патентами РФ универсальная несъемная модульная опалубочная система из легких стальных тонкостенных конструкций в виде профилированного листа. Опалубочная система комплектуется из модульных элементов заводского изготовления, не имеющих аналогов в мире по своим потребительским качествам. Конструкции из ЛСТК производятся с 2014 года в г. Тольятти и имеют такие свидетельства признания профессионального сообщества, как дипломы Всероссийского конкурса «Элита строительного комплекса России» и Российского союза строителей.

Внедрение современных эффективных технологий с применением ЛСТК в строительную отрасль обеспечивает снижение себестоимости и сроков возведения объекта капитального строительства, сокращение эксплуатационных затрат на его содержание и продление жизненного цикла.

Участниками семинара стали студенты старших курсов направлений подготовки «Промышленное и гражданское строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений», профессорско-преподавательский состав кафедр института строительства. Семинар позволил будущим специалистам расширить свои знания о современных строительных технологиях, а преподавателям – обменяться опытом и оценить возможности представленной конструкции. Мероприятие завершилось ответами на вопросы и индивидуальными консультациями [1].

Наука – керамическому производству.

2-3 февраля 2022 года на базе Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) состоялся симпозиум «Наука – керамическому производству», который является частью Международного информационно-аналитического проекта «Керамтэкс». Организаторами мероприятия выступили научно-технический журнал «Строительные материалы» (г. Москва), ООО Кирпичный завод «Ликолор» (г. Новосибирск) и кафедра Строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин).

Симпозиум «Наука – керамическому производству» – важное профессиональное событие в отрасли строительных материалов. Он собрал ведущих ученых, специалистов, руководителей разных уровней из России (Новосибирская область, Москва и Московская область, Томская, Калининградская, Кемеровская, Курганская, Оренбургская, Омская, Ростовская, Самарская, Тюменская и Челябинская области, Красноярский край) и зарубежных стран (Германия, Испания, Италия, Франция и Казахстан). Участниками события также стали преподаватели, аспиранты и студенты НГАСУ (Сибстрин).

Ученых и производителей объединила общая цель – обмен научной информацией и практическим опытом для решения проблем надежности и качества в разных областях керамической промышленности.

Работу симпозиума открыли ректор НГАСУ (Сибстрин) и главный редактор журнала «Строительные материалы» Елена Юмашева.

В своем выступлении руководитель университета приветствовал всех участников симпозиума



Фото 6. С сайта НГАСУ Сибстрин [1]



«Наука – керамическому производству» в стенах Сибстрина – первого за Уралом вуза архитектурно-строительного профиля и поблагодарил, что лучшие российские и зарубежные ученые, руководители и специалисты предприятий по производству керамических изделий и оборудования собрались в профильном вузе, который всегда нуждается в профессионалах для обсуждения текущих проблем строительной науки и обмена опытом. Это несомненно будет способствовать развитию отраслевой науки, появлению и внедрению новых разработок в сфере строительных и, в частности, керамических материалов.

От НГАСУ (Сибстрин) в работе симпозиума приняли участие сотрудники кафедры Строительных материалов, стандартизации и сертификации: д.т.н., профессор Геннадий Стороженко, к.т.н., доцент Татьяна Шоева и к.т.н., доцент Любовь Завадская. Геннадий Иванович выступил модератором симпозиума и представил доклад «Технология жесткого формования керамического кирпича на основе суглинков Западной Сибири»[10].

Программа мероприятия также включала производственную экскурсию на крупнейший российский кирпичный завод «Ликолор», дискуссию и обмен мнениями между всеми участниками. В завершении были подведены итоги работы очередного симпозиума «Наука – керамическому производству».

О Сибстрине. Более 90 лет назад в Новосибирске был основан Сибирский строительный институт (Сибстрин), ставший первым за Уралом вузом архитектурно-строительного профиля и положивший начало высшему профессиональному образованию в строительной отрасли в регионе.

Университет образован в соответствии с приказом Высшего Совета Народного Хозяйства СССР от 28 мая 1930 г. № 1381 как строительный институт в г. Новосибирске, который в 1935 г. был переименован в Новосибирский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева.

Приказом Комитета по высшей школе Министерства науки, высшей школы и технической политики Российской Федерации от 21 июня 1993 г. №41 Новосибирский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева переименован в Новосибирскую государственную академию строительства, которая приказом Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации от 22 января 1998 г. № 131 переименован в Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет.

Сегодня Сибстрин заслуженно считается одним из ведущих научных центров архитектуры, строительства и ЖКХ в Сибири. Университет принимает активное участие в решении самых актуальных вопросов, стоящих перед нашим городом, регионом и страной, развивает приоритетные направления



Фото 7. С сайта НГАСУ Сибстрин [1]



строительной науки, выполняет большой объем прикладных работ по запросу власти и производства, готовит научно-педагогические кадры высшей квалификации. Наши ученые создают инновационные технологии, технику и материалы, чем вносят весомый вклад в науку и экономику Новосибирска, Новосибирской области и Сибирского федерального округа.

В стенах университета ведется эффективная научно-исследовательская работа аспирантов, магистрантов и студентов, благодаря которой они завоевывают гранты, становятся лауреаты стипендий регионального и федерального значения, побеждают в конференциях различного уровня, конкурсах исследовательских программ и проектов.

За 92 года работы из стен Сибстрина вышли более 50 тысяч высококлассных специалистов, внесших весомый вклад в развитие региона и страны; накоплен уникальный опыт, бережно сохраняемый и развиваемый трудовым коллективом вуза. Сегодня университет (Сибстрин) нацелен на решение кадровых задач и наращивание интеллектуального потенциала для приоритетных сфер региональной экономики. Стратегическими партнерами вуза являются Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ), Российский Союз строителей, правительство Новосибирской области, мэрия города Новосибирска, министерство строительства Новосибирской области, Ассоциация строительных организаций Новосибирской области (АСОНО), ведущие строительные организации и предприятия региона.

В стенах университета ведется эффективная научно-исследовательская работа аспирантов, магистрантов и студентов, благодаря которой они завоевывают гранты, становятся лауреаты стипендий регионального и федерального значения, побеждают в конференциях различного уровня, конкурсах исследовательских программ и проектов [1].

В завершении хочу выразить искреннюю признательность всем, кто развивает научную деятельность в НГАСУ (Сибстрин) – от студента до профессора! Желаю крепкого здоровья, творческой энер-

гии, новых открытий, смелых идей и успехов в их реализации, счастья и благополучия!

Высокий уровень проведения мероприятий в рамках участия университета в Международном форуме-выставке «Сибирская строительная неделя» был обеспечен слаженной работой дирекций институтов НГАСУ (Сибстрин) и организован инновационно-технологическим центром «Сибстрин-инновация» при участии Рекламно-информационного центра «PR-Sibstrin».

Список источников

1. НГАСУ (Сибстрин). URL: <http://www.sibstrin.ru/news/miscellaneous/7774/>
2. Влияние режимов активации жидкости затворения на прочность цементного камня / В. Шахов // Материалы V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2022. С. 45-49
3. Опалубочные системы для монолитного строительства / С.М. Анпилов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. 280 с.
4. Применение нормативно-технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений с использованием ЛСТК и настила армирующего «БИЗОН» / С.М. Анпилов [и др.]. – Тольятти: Изд-во ИССТЭ, 2021. 82 с.
5. Природный ресурс для разработки новых строительных технологий / Н.Г. Стенина // Материалы V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2022. С. 10-18
6. Пути прогресса и развития в науке / С.М. Анпилов. – Тольятти: Изд-во ИССТЭ, 2021. 186 с.
7. Разработка эффективных наномодифицированных защитных покрытий / А.П. Пичугин, А.В. Пчельников // Материалы V Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2022. – С.173-178
8. Свободный полет / С.М. Анпилов. – Тольятти, 2012.
9. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона / С.М. Анпилов. - М.: Изд-во АСВ, 2010.
10. Технология жесткого формования керамического кирпича на основе суглинков Западной Сибири / Г.И. Стороженко. Строительные материалы. 2021. №9. С. 4-9.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 21.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.



Научная статья
УДК 691.001.4
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2022_2_75

**ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСНОСТИ И СИСТЕМНОСТИ КАЧЕСТВЕННОГО ОПИСАНИЯ
И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК
СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

© Авторы 2022
SPIN: 4612-8219
AuthorID: 174746

ЧЕРНЫШОВ Евгений Михайлович, академик РААСН,
доктор технических наук, профессор

SPIN: 6355-6652
AuthorID: 176375
ORCID: 0000-0001-7354-6360
ResearcherID: A-7827-2017

МАКЕЕВ Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный технический университет
(394006, Россия, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84,
e-mail: makeev@vgasu.vrn.ru)

Аннотация. Публикация касается вопросов достоверности выводов о мере влияния изучаемых технологических или эксплуатационных факторов на процессы структурообразования и качество строительных композитов по нахождению обнаруженных эффектов «в пределах» или «за пределами» ошибки измерений параметров состава и структуры. Представлены результаты специально поставленных опытов по оценке статистической погрешности исследований структуры силикатного микробетона методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализа в сопоставлении с относительной ошибкой механических испытаний этого материала. Показано, что при условии постановки технологических факторов под контроль статистическая изменчивость состава и структуры материала не превышает 5-7 %, а физико-механических свойств находится на уровне 10 %.

Ключевые слова: слова: строительные композиты, химико-физические методы анализа, параметры структуры силикатного микробетона, отбор представительной пробы, ошибка измерений, достоверность результатов

Для цитирования: Чернышов Е.М., Макеев А.И. Проблема комплексности и системности качественного описания и статистической достоверности количественной оценки характеристик структуры строительных композитов // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 75-80. doi:10.51608/26867818_2022_2_75.

Original article

**PROBLEM OF COMPLEXITY, SYSTEM QUALITATIVE DESCRIPTION AND STATISTICAL RELIABILITY
OF THE BUILDING CHARACTERISTIC SCOMPOSITES**

© The Authors 2022

CHERNYSHOV Evgeny Mikhailovich, Academician of RAACS,
doctor of technical sciences, professor

MAKEEV Aleksey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh State Technical University
(394006, Russia, Voronezh, street of the 20th anniversary of October, 84,
e-mail: makeev@vgasu.vrn.ru)

Annotation. The publication deals with questions of reliability of conclusions about the degree of influence of studied technological or operational factors on structuring processes and the quality of building composites on finding detected effects «within» or «outside» measurement errors of composition and structure parameters. The authors present the results of specially delivered experiments on the estimation of statistical error of researches on the structure of silicate micro-concrete by methods of X-ray and differential-thermal analysis in comparison with a relative error of mechanical tests of this material. It is shown that if technological factors are brought under control, the statistical variability of the composition and structure of the material does not exceed 5-7%, and the physical-mechanical properties are at the level of 10%.



Keywords: building composites, chemical and physical methods of analysis, parameters of silicate micro-concrete structure, selection of representative sample, error of measurements, reliability of results

For citation: Chernyshov E.M., Makeev A.I. Problem of complexity, system qualitative description and statistical reliability of the building characteristics composites // *Expert: theory and practice*. 2022. No. 2 (17). Pp. 75-80. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_75.

Введение. Данная публикация посвящена методологическим и методическим вопросам системно-структурного материаловедения, связанным с проблемой полноты и достоверности качественной и количественной идентификации строения строительных композитов в технологических исследованиях и разработках.

Может показаться, что цель данной публикации тривиальна, поскольку все в этом отношении, так сказать, разработано, «все известно». Действительно, еще в 60-70 годы прошлого века сложились [1-9 и др.], а в дальнейшем получили развитие [10-12] методы физического и физико-химического анализа структуры строительных материалов, что нашло отражение в ставших классическими монографиях, учебниках и учебных пособиях. В последние годы появились современные их интерпретации, обеспечивающие более высокую интегрированность методов и методик, визуализацию внутреннего строения ма-

териала вплоть до атомно-молекулярного его уровня [13-16].

К настоящему времени накоплен большой опыт применения основных физических, химических и физико-химических методов (таблица 1) при изучении структуры строительных материалов. Идентифицируемый этими методами размерный диапазон структурных компонентов от атомно-молекулярного уровня (10^{-10} м) до макроструктуры изделия (10^{-1} м) позволяет качественно и количественно оценивать все три типа выделяемых в строении композитов подструктур [17].

Признавая, что это привело, безусловно, к существенному повышению уровня фундаментальности материаловедческих и технологических исследований, обеспечило раскрытие и понимание многих закономерностей структурообразования и проявления свойств материалов как функции структуры, необходимо указать, что имеются существенные и

Таблица 1. Арсенал методов идентификации структуры строительных композитов

Метод	Размерный диапазон, м	Оцениваемые характеристики
Визуальный анализ	$2 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-1}$	- макроструктура
Оптическая микроскопия	$2 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-3}$	- форма и размер кристаллов; - форма и размер микропор
Петрографический анализ	$4 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-2}$	- минералогический состав; - морфологический состав
Комплексный химический анализ		- химический состав; - минералогический состав
Калориметрия		- энергетическое состояния поверхности твердой фазы
Дифференциально-термический и термогравиметрический анализ	$10^{-10} \dots 10^{-9}$	- химический состав; - фазовый состав; - минералогический состав
Рентгенографический анализ	$10^{-10} \dots 10^{-9}$	- фазовый состав; - минералогический состав кристаллической фазы; - тонкая структура кристаллов
Инфракрасная спектроскопия	$10^{-10} \dots 10^{-9}$	- химический состав; - типы и силы структурных связей; - количество кристаллизационной и несвязанной воды
Электронная растровая микроскопия	$4 \cdot 10^{-10} \dots 10^{-4}$	- минералогический состав; - морфологический состав; - гранулометрический состав
Атомно-силовая микроскопия	$10^{-11} \dots 10^{-10}$	- морфология и свойства поверхности; - параметры и дефекты кристаллической решетки
Микротвердометрия	$10^{-6} \dots 10^{-4}$	- толщина контактных зон
Порометрия оптическая, гигрометрическая, ртутная	$10^{-9} \dots 10^{-3}$	- фазовый состав; - распределение пор по размерам; - распределение пор по форме

* Укажем, что таблица отражает далеко не весь инструментарий физико-химических методов идентификации структуры, который непрерывно расширяется и модернизируется. Здесь представлены главным образом методы, сложившиеся к 80-м годам XX века и применяемые авторами в своих исследованиях.



принципиальные мотивы к тому, чтобы обратиться к рассмотрению и обсуждению обозначенной проблемы публикации.

Изучение и анализ современных материаловедческих работ оставляет определенную неудовлетворенность тем, что в «зоне умолчания» остаются не только вопросы полноты и комплексности, но в наибольшей мере вопросы статистической достоверности, погрешности именно структурных исследований; тем, что при достаточно активном развитии методик физического и физико-химического распознавания структуры и соответствующего качественного ее описания, методы количественной идентификации в указанной выше трактовке не получили должного развития и применения.

Между тем актуальность этого очевидна и определяется в первую очередь тем, что современная концепция строительного материаловедения все больше соотносится с задачами и методологией цифрового конструирования и синтеза структур строительных композитов, опирающихся при оптимизации технологических решений на качественную и количественную идентификацию, математическую формализацию и компьютерное моделирование структур [18].

Строительные композиты как объект идентификации, формализации и моделирования их структуры весьма сложны, что является следствием исходной их многокомпонентности и рецептурно-технологической многофакторности получения. «Это структурированные твёрдые тела ... с конгломератной структурой, наделённые признаками субстанциональности, многофазности, полиструктурности, масштабной многоуровневости, детерминированности, стохастичности и диалектичности» [19]. В этих условиях в методологии идентификации структуры обязательным становится обеспечение необходимой комплексности и достаточной полноты, системности описания и оценки конгломератной полиструктуры, статистической достоверности и воспроизводимости рецептурно-технологических эффектов при получении структур материалов с заданными свойствами.

Именно это все и стимулировало подготовку данной публикации, в которой обобщены результаты изучения статистической изменчивости и воспроизводимости структурных измерений методами физико-химического анализа, представленные в докторской диссертации Е.М. Чернышова «Управление процессами структурообразования и качеством силикатных автоклавных материалов (вопросы методологии, структурное материаловедение, инженерно-технологические задачи)». Экспериментальные исследования выполнены совместно с О.Н. Хорошковой, С.С. Коростелевой и В.А. Поповым. Как нам видится, современная трактовка этих результатов может иметь определенный интерес и быть по-

лезной при осуществлении материаловедческих и технологических исследований.

Постановка эксперимента. При планировании испытаний учитывалось, что статистическая ошибка измерения является результатом совокупного действия случайных факторов, проявляющихся, во-первых, при реализации соответствующего технологического опыта, во-вторых, при отборе пробы материала в пределах экспериментальной серии образцов конкретной реализации технологического опыта и, наконец, в-третьих, при выполнении непосредственно физико-химического измерения для принятой пробы материала.

В качестве примера строительного композита (объекта исследований) рассматривался силикатный микробетон, изготавливаемый из известково-песчаной смеси со следующими характеристиками:

- активность 20 %;
- удельная поверхность кварцевого песка $200 \text{ м}^2/\text{кг}$;
- удельная поверхность извести 450-500 $\text{м}^2/\text{кг}$;
- водо-твёрдое отношение 0,45.

Перемешивание компонентов осуществлялось в турбинном смесителе. Автоклавная обработка проводилась при избыточном давлении 1,0 МПа по режиму 2+7+4 ч.

Как предмет исследований принималась мера статистической погрешности качественной и количественной оценки минералогического состава полученного материала методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа.

Учитывая, что получение статистически достоверных данных в экспериментах в первую очередь предопределяется отбором проб материала, эту операцию рассматривали как выделение представительной выборки из генеральной совокупности случайных величин. Под представительной выборкой при этом понималась такая, в которой было реализовано условие обеспечения равной вероятности попадания в нее образцов материала, имеющих случайные колебания состава, структуры, свойств [20]. За генеральную совокупность (исходную пробу) принимали всю массу материала образцов, полученных в рамках проведения определенного технологического опыта. Условие представительности лабораторной пробы (выборки из генеральной совокупности) обеспечивалось ее формированием по случайному закону с применением таблицы случайных чисел. Кратко раскроем применяемую при этом методику, подробное содержание которой изложено в [21].

Минимальную массу лабораторной пробы m_{min} , кг, необходимой для выполнения всего комплекса физико-химических анализов, определяли по формуле, предложенной Демондом и Хальфердалем [22]:



$$m_{min}=k \times d^{\alpha}, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности; α – показатель степени (для кусковых неоднородных материалов принималось $k=0,15, \alpha=1,5$); d – минимальный размер кусков испытуемого материала, обеспечивающий сохранение его квазиоднородности, мм:

$$d \geq 5 \cdot l, \quad (2)$$

где l – максимальный размер частиц включений в материале, мм. В силикатном микробетоне включениями являются частицы молотого кварцевого песка с $l=0,4$ мм [23].

Подготовку необходимой массы лабораторной пробы материала производили методом ступенчатого квадратования [22] с использованием случайного набора порций. На каждой ступени квадратования массу материала последовательно уменьшали. Для этого после перемешивания исходной пробы материал разравнивали на гладкой площадке ровным слоем и с помощью линейки делили на 12 квадратов, квадраты нумеровали. Затем по таблице случайных чисел устанавливали 4 квадрата, подлежащих отбору; порции из этих квадратов отбирали так, чтобы совок или лопаточка захватывали всю толщину слоя материала, соединяли и тщательно перемешивали. На каждой ступени уменьшения исходной пробы материал последовательно измельчали до минимально допустимого размера кусков d_b лабораторной пробе [21].

На заключительном этапе уменьшения исходной пробы до лабораторной выполнялось просеива-

ние материала через два последовательно собранные сита: нижнее сито с размером отверстия, соответствующим минимальному размеру кусков в лабораторной пробе, верхнее сито – с предыдущим верхним номером в стандартном ситовом наборе.

Из усредненной таким образом лабораторной пробы тем же методом квадратования отбирались и подготавливались аналитические пробы исследуемого материала определенной массы в соответствие с требованиями методики конкретного анализа.

Обработка результатов. Изучение воспроизводимости структурных измерений строительного композита осуществлялось с применением статистических критериев оценки количественных показателей в предположении нормального закона распределения их случайных величин.

Воспроизводимость результатов рентгенофазового анализа оценивалась по относительной погрешности обобщенного показателя интенсивности дифракционных максимумов остаточного кварца в силикатном микробетоне (0,245, 0,227, 0,225; 0,212; 0,198; 0,181, 0,154 нм), а также количественной оценки минералогического состава цементирующего вещества микробетона по методике НИПИСиликатобетона и ЦЕБЕТ [11].

Для метода дифференциально-термического анализа оценивалась относительная погрешность измерений температуры термоэффектов модификационного превращения кварца, декарбонизации, разложения одноосновных гидросиликатов кальция, удаления гидратной воды.

Таблица 2. Воспроизводимость результатов количественной оценки состава, структуры и свойств в исследованиях

Оцениваемый показатель	Относительная погрешность		
	при многократном повторном испытании одной пробы	при многократном повторном отборе пробы в пределах одной технологической серии образцов	при испытании проб, отбираемых при многократной реализации одного и того же технологического опыта
Результаты ДТА: - удаление гидратной воды из тоберморита	9,3	11,3	10,7
- модификационное превращение кварца	0,9	1,3	1,0
- декарбонизация	1,1	0,8	1,2
- разложение одноосновного гидросиликата кальция	0,7	0,8	0,7
- относительная потеря массы образцов	2,6	5,9	6,2
Интенсивность дифракционных максимумов остаточного кварца по РФА	4,8	5,6	6,8
Результаты РФА: CSH(I) Тоберморит CSH(II) CaCO ₃	7,8 5,0 6,2 5,3	4,3 5,2 15,0 15,5	10,0 12,6 17,2 10,7
Прочность при сжатии	9,2	9,9	10,3



Для сопоставления воспроизводимости результатов структурного анализа параллельно была определена погрешность и физико-механических испытаний материала.

Число реализации отдельного опыта и число испытаний в исследованиях принималось равным шести. Экспериментальные результаты подвергали статистической обработке с доверительной вероятностью $P = 0,95$ после предварительной отбраковки грубых промахов путем проверки гипотезы о принадлежности наибольшего и наименьшего значений в выборке генеральной совокупности по критерию Диксона [24].

Относительную погрешность измерений определяли по формуле

$$\varepsilon = \delta/M, \quad (3)$$

где M - оценка математического ожидания генеральной совокупности, за которую принималось среднее арифметическое значение измерений в выборке; δ - доверительный интервал для оценки математического ожидания [25]

$$\delta = \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где t - коэффициент Стьюдента, учитывающий отклонение распределения случайной величины в выборке от нормального. Значение коэффициента Стьюдента в расчетах принимали в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы по принятой доверительной вероятности P и числу измерений n ; S - оценка дисперсии генеральной совокупности, принимаемая по величине среднеквадратического отклонения выборки

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M - x_i)^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где x_i - результат i -го измерения в выборке.

Обобщенные результаты расчетов представлены в табл. 2.

Обсуждение результатов. Установлено, что воспроизводимость лабораторного изготовления образцов силикатного микробетона при заданных, находящихся под контролем, технологических условиях по показателям его предела прочности при сжатии находится в пределах 9-11 % или близка к 10 %.

Для метода дифференциально-термического анализа его воспроизводимость характеризуется следующими данными: погрешность определения температуры термоэффектов модификационного превращения кварца, декарбонизации CaCO_3 , разложения одноосновных гидросиликатов кальция составляет при принятой вероятности приблизительно 1 %; для эффекта удаления гидратной воды такая погрешность достигает 11-12 %; погрешность определения величины относительной потери массы образ-

цов в результате термических превращений в материале составляет около 6 %.

Изучение воспроизводимости результатов рентгенофазового анализа цементирующего вещества силикатного автоклавного материала показало, что величина относительной погрешности измерений при многократном повторении испытаний одной пробы находится в пределах 5-7 %. Погрешность определений возрастает до 10-15 % при многократном повторном отборе пробы в пределах одной реализации технологического опыта или многократной реализации такого опыта.

Заключение. Количественная идентификация структуры строительных композитов физическими и физико-химическими методами должна отвечать условиям комплексности, системности описания и оценки, статистической достоверности и воспроизводимости эффектов. Подобно тому, как это делается при механических испытаниях, необходимой является информация о мере погрешности получаемых результатов количественной оценки структурных параметров композитов для соответствующего принятого уровня вероятности.

При условии постановки технологических факторов под контроль статистическая изменчивость состава и структуры материала не превышает 5-7 %, а физико-механических свойств находится на уровне 10%. Эти данные могут быть использованы для назначения точности (погрешности) оценок при расчете минимальной массы лабораторной пробы.

Непременным условием проведения структурных исследований материала с определенной контролируемой достоверностью и статистической воспроизводимостью является отбор и подготовка его представительной лабораторной пробы по случайному закону.

Мера статистической погрешности имеет практическое значение для решения вопросов о достоверности влияния изучаемых технологических или эксплуатационных факторов на состав, структуру и свойства строительных композитов: наличие данных по погрешности позволяет однозначно судить о том, находится ли действие рассматриваемого из этих факторов «в пределах» или «за пределами» ошибки измерений, и делать выводы о мере влияния технологических факторов на процессы структурообразования и качество материала.

Список источников

1. Горшков В.С. Термография строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1968. 238 с.
2. Ляликов Ю.С. Физико-химические методы анализа. - М.: Химия, 1970. С. 28-90
3. Алексеев В.Н. Количественный анализ. - М.: Химия, 1972. 504 с.
4. Термический анализ минералов и горных пород. - Л.: Недра, 1974. 399 с.



5. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ: Справочное руководство. - М.: Наука, 1976. 326 с.
6. Болдырев А.М. Инфракрасные спектры минералов. - М.: Недра. 1976. 199 с.
7. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: Изд-во Московского университета, 1976. 183 с.
8. Рамачандран В.С. Применение дифференциально-термического анализа в химии цементов / Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1977. 408 с.
9. Плюснина И.И. ИК-спектры минералов. - М.: Изд-во МГУ, 1977. 51 с.
10. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 1981. 335 с.
11. Грюнер Г., Грюнер П. Применение метода дериватографического анализа для количественной оценка содержания некоторых гидросиликатов кальция в автоклавном бетоне // Гидросиликаты кальция и их применение: Тез. докл. Всесоюзн. сем. - Каунас: КПИ, 1980. С. 53-55.
12. Чернышов Е.М., Старновская Н.И. Исследование объемного содержания морфологически различных гидросиликатов кальция в структурах твердения автоклавных бетонов // Гидросиликаты кальция и их применение: тез. докл. Всесоюзн. сем. - Каунас: КПИ, 1980. С. 147-149.
13. Russ J.C., Dehoff R.T. Practical Stereology, 2nd ed. KluwerAcademicPublishers, 2000, 382 p
14. Niederost M., Niederost J., Scucka J. Automatic 3D reconstruction and visualization of microscopic objects from a mesoscopic multi focus image sequence // International Archives of Photogrammetry, remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXIV – 5/W10, 2002
15. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / Институт физики микроструктур РАН. – Нижний Новгород, 2004. 110 с.
16. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. – М.: Техносфера, 2005. 304 с.
17. Чернышов Е. М., Макеев А. И. Типы подструктур в целостной полиструктуре бетона и закономерности формирования параметров поля напряжений в композите (к развитию теории конструирования и синтеза структур конгломератных строительных композитов) // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: Сб. научн. тр. РААСН: в 2 т. / РААСН. – М.: АСВ, 2021. С. 304-314.
18. Чернышов Е.М., Макеев А.И. О проблеме развития, эволюции «цифрового подхода» в материаловедении и технологии строительных композитов // Современная наука: теория, методология, практика: Матер. III всерос. (нац.) научно-практ. конф.- Тамбов, 2021. С. 9-21.
19. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 3. Системная идентификация «конструкции структуры» конгломератных строительных композитов (в качественной постановке проблемы) // Известия вузов. Строительство. 2021. № 3. С. 5-26.
20. Коуден Д. Статистические методы контроля качества. - М.: Физматгиз, 1961. 623 с.
21. Попов В.А. Разработка методики подготовки представительной пробы минеральных строительных материалов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2010. Т. 1. № 1(1). С. 213-216.
22. Богданова И.В., Егоров Г.Б. Оперативный контроль качества материалов цементного производства. – Л.: Стройиздат, 1983. 183 с.
23. Чернышов Е. М., Беликова М. И. Измельчение и физико-химическая активность сырьевых компонентов в технологии строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1993. № 3. С. 37-41.
24. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высш. школа, 1972. 167 с.
25. Практическое пособие по метрологическому обеспечению строительного производства / Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству. – М.: Стройиздат, 1973. 64 с.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.02.2022; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

Научная статья

УДК 539.3: 624.012

ГРНТИ: 30.19: Механика деформируемого твердого тела

ВАК: 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела (физико-математические науки)

doi:10.51608/26867818_2022_2_81

О ВАРИАНТАХ ВЫБОРА ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕ ТОЛЬКО

© Авторы 2022
SPIN: 8966-7812
AuthorID: 453902

ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич, член-корреспондент РААСН,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Строительство, строительные материалы и конструкции»

ЗАХАРОВА Ирина Александровна,
кандидат физико-математических наук, доцент

SPIN: 1211-6704
AuthorID: 444944

СУДАКОВА Инга Анатольевна,
кандидат технических наук, доцент
Тульский государственный университет
(300012, Россия, Тула, пр-т Ленина, 92, e-mail: taa58@yandex.ru)

Аннотация. Приводится анализ имеющихся экспериментальных и теоретических сведений по силовому деформированию бетона как композитного материала и стальных стержней – прототипов арматуры в составе железобетонных конструкций. Оценивается наличие «ниспадающих» ветвей на диаграммах деформирования эталонных образцов материалов, появляющихся как результат стандартной обработки экспериментальных данных. При этом указывается на противоречивость традиционной методики вычисления напряжений, возникающих в сечениях опытных образцов, по усилиям, создаваемым прессом и разрывной машиной, с использованием исходных размеров сечений этих образцов. Учет «ниспадающих» ветвей на диаграммах противоречит требованию положительной определенности энергии деформирования, вытекающего из постулата Друкера, что осложняет и может привести к невозможности использования для расчета сложных сооружений энергетический, вариационных методов и МКЭ в различных его формах. Рассмотрены аспекты энергетической непротиворечивости уравнений связи тензоров деформаций и напряжений, особенно, для композитных материалов при сложных напряженных состояниях. Рекомендовано для расчета конструкций, испытывающих сложные напряженные состояния, не пользоваться лишь нелинейными одноосными диаграммами с ниспадающими ветвями, по которым формулируются различные модификации теории малых упругопластических деформаций, хотя и с учетом различной жесткости и прочности при простых растяжении и сжатии. Для расчетов конструкций, выполненных из подобных композитных материалов и деформирующихся в условиях сложных напряженных состояний, предлагается использовать, сформулированные ранее одним из авторов, потенциальные соотношения связи между тензорами деформаций и напряжений. Эти потенциалы деформаций построены с использованием нормированных векторных пространств напряжений для начально изотропных композитных материалов, проявляющих зависимость механических свойств от вида напряженного состояния. Обладая гибким механизмом непрерывного учета изменения деформационных свойств композитных материалов при смене видов напряженного состояния в их теле, полученные уравнения тем более пригодны для определения НДС структур с классически физически линейными и нелинейными связями напряжений и деформаций. Для этих уравнений доказана теорема единственности и установлены ограничения в материальных функциях, отвечающие постулату Друкера.

Ключевые слова: ниспадающая ветвь диаграммы деформирования, начально изотропные материалы, потенциал деформаций, постулат Друкера, условные напряжений, истинные напряжения

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Правительства Тульской области для выполнения работ в сфере науки и техники, договор №ДС/284.

Для цитирования: Трещев А.А., Захарова И.А., Судакowa И.А. О вариантах выбора диаграмм деформирования композитных материалов и не только // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 81-90. doi:10.51608/26867818_2022_2_81.



Original article

SELECTION OF DIAGRAMS FOR DEFORMATION OF COMPOSITE MATERIALS AND MORE

© The Authors 2022 **TRESCHEV Alexander Anatolyevich**, Corresponding Member of RAASN,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department
"Construction, building materials and structures"

ZAKHAROVA Irina Aleksandrovna,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

SUDAKOVA Inga Anatolievna,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tula State University
(300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92, e-mail: taa58@yandex.ru)

Annotation. The paper considers analysis of the available experimental and theoretical data on the force deformation of concrete as a composite material and steel rods – prototypes of reinforcement as part of reinforced concrete structures. The presence of "falling" branches on the deformation diagrams of reference samples of materials appearing as a result of standard processing of experimental data is estimated. At the same time, the inconsistency of the traditional method of calculating the stresses arising in the cross sections of the prototypes is indicated by the forces created by the press and the bursting machine, using the initial cross-section sizes of these samples. Taking into account the "falling" branches in the diagrams contradicts the requirement of positive certainty of the deformation energy resulting from Duiker's postulate, which complicates and may lead to the impossibility of using energy, variational methods and FEM in its various forms for calculating complex structures. Aspects of the energy consistency of the coupling equations of strain and stress tensors are considered, especially for composite materials under complex stress states. It is recommended not to use only nonlinear uniaxial diagrams with descending branches for the calculation of structures experiencing complex stress states, according to which various modifications of the theory of small elastic-plastic deformations are formulated, although taking into account different stiffness and strength under simple tension and compression. For calculations of structures made of similar composite materials and deformed under conditions of complex stress states, it is proposed to use the potential relationship between strain and stress tensors formulated earlier by one of the authors. These strain potentials are constructed using normalized stress vector spaces for initially isotropic composite materials showing the dependence of mechanical properties on the type of stress state. Having a flexible mechanism for continuously taking into account changes in the deformation properties of composite materials when changing the types of stress state in their body, the obtained equations are all the more suitable for determining the stress-strain state of structures with classically physically linear and nonlinear stress and strain relationships. The uniqueness theorem is proved for these equations and restrictions in material functions corresponding to Drucker's postulate are established.

Keywords: the descending branch of the deformation diagram, initially isotropic materials, deformation potential, Drucker's postulate, conditional stresses, true stresses

Acknowledgments: the work was carried out with the support of a grant from the Government of the Tula region for work in the field of science and technology, contract No. DS/284.

For citation: Treschev A.A., Zakharova I.A., Sudakova I.A. Selection of diagrams for deformation of composite materials and more // Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 81-90. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_2_81.

Введение. Развитие строительной техники и технологий в исторически обозримый период является основой развития практически всех отраслей экономики. По-видимому, одними из первых «инженеров» и исследователей в период становления цивилизации «человека-разумного» были те, кто занимались возведением пещер для своего проживания. Отсутствие у них простейших инженерных знаний, как видно из истории последних пяти веков, создали предпосылки для становления и развития многих направлений науки и техники и особенно механики. В настоящее время развитие строительной науки и

техники тесно связано со многими областями человеческой жизнедеятельности, так как без создания новых строительных объектов различного назначения дальнейший прогресс человечества невозможен.

Современная строительная наука является неотъемлемой частью фундаментальной, которая не только закладывает основы развития дальнейших исследований и получения новых знаний, но и предпосылки для долгосрочных технологических прорывов, создания новых композитных материалов, конструкций, выполненных из них, а в конечном счете, создания

комфортной среды обитания современного человека и его прогресса. Развитие прорывных технологий и оригинальных научных идей невозможно без критического анализа предшествующих исследований.

В настоящее время для изделий машиностроения, оборудования объектов энергетики, конструкций зданий и сооружений чаще стали использоваться композитные материалы, обладающие особыми механическими свойствами, которые кардинально отличаются от однородных структур типа стали и условно однородных, каковой является древесина. Наиболее распространенным и, наверное, первым композитным строительным материалом является бетон и железобетон. Известно, что в составе железобетона используются два совершенно различных по своим физико-механическим свойствам материала: неоднородный начально изотропный композитный бетон и, как правило, структурно однородная стальная арматура [1 – 22]. Кроме традиционных бетонов и железобетона все чаще применяются облегченные композиты, обладающие не меньшей жесткостью и прочностью, а иногда и имеющие более высокие эти показатели [23 – 32]. Однако эти композиты по своей структуре наряду с начальной изотропией могут быть неоднородны, анизотропны, объединять два и более разных по свойствам наполнителей, а общим для них, а также для бетона и железобетона, являются зависимости физико-механических свойств от вида напряженного состояния [1 – 47]. Наиболее встречающейся структурной анизотропией среди этих материалов является класс ортотропии. Известно, что даже традиционно применяемые в строительстве железобетоны, стальные и легко сплавные прокаты обладают ортотропией декартового типа, а древесина – цилиндрического.

Бетон, как композит, не смотря на его ярко выраженную разносопротивляемость, изначально структурно изотропен [1 – 22]. Свою анизотропию он приобретает только после образования трещин или даже до этого, когда в него вводятся армирующие стержни, превращая последний в железобетон [1 – 22]. В отличие от «сильно» наполненных армирующими волокнами композитов, массово применяемый железобетон имеет армирование до 3% и его расчетные модели изначально строятся по отдельным эталонным диаграммам деформирования бетона и арматуры с учетом окончательной совокупной неоднородности. Однако большинство расчетных моделей исходят из не инвариантности исходных диаграмм деформирования бетона только при одноосном растяжении и сжатии, а в дальнейшем, в основном, обобщенный закон Гука, преобразованный за счет нелинейности в подобие теории малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина [2 – 16]. В этих моделях считается, что влияние других видов напряженного состояния на силовую реакцию бе-

тона будет учтено автоматически. Но как показали многочисленные эксперименты по пропорциональному нагружению эталонных образцов бетона, его реальное деформирование демонстрирует заметные погрешности теоретических моделей при сложных видах напряженного состояния, отличающихся от одноосных [17 – 22].

Известен ряд работ, в которых усовершенствование расчетных моделей основываются на аппроксимации эмпирических данных путем учета, так называемых, «ниспадающих ветвей» одноосных диаграмм деформирования бетона и стальной арматуры [2 – 16] и даже в последнюю версию свода правил по проектированию бетонных и железобетонных конструкций [1]. Примерный вид, используемых в работах [2 – 16], диаграмм деформирования бетона и арматуры представлен на рис. 1, 2, 3, а диаграммы бетона, внесенные в свод правил [1] – на рис. 4.

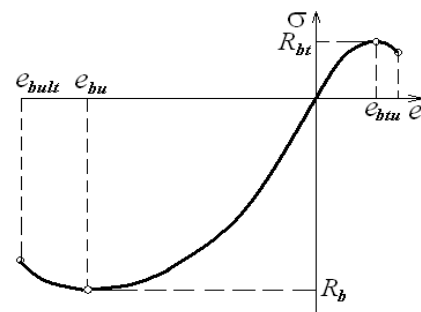


Рис. 1. Примерные диаграммы осевых растяжения и сжатия бетона

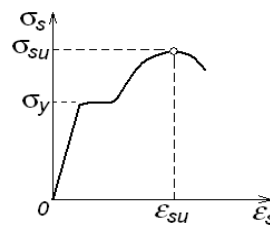


Рис. 2. Примерная диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

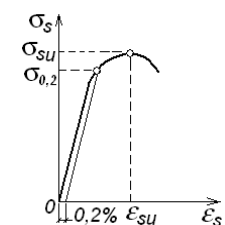


Рис. 3. Примерная диаграмма растяжения легированной стали

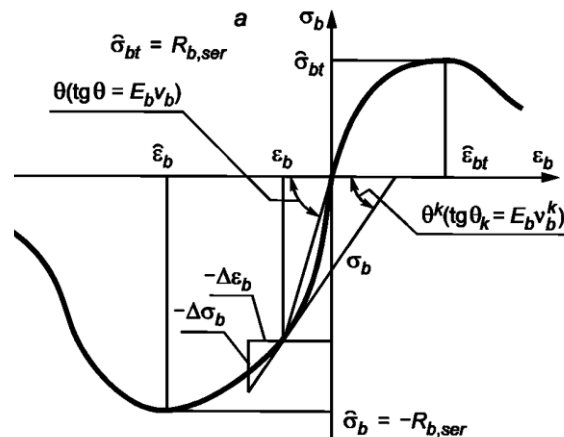


Рис. 4. Диаграммы осевых растяжения и сжатия, принятые в СП63.13330.2018



Подробный обзор известных вариантов принимаемых в расчетах конструкций диаграмм деформирования бетона и стальной арматуры приведен в работе [22]. Следует заметить, что использование «ниспадающих ветвей» диаграмм деформирования бетона и стальной арматуры в расчетных моделях весьма противоречиво и до настоящего времени не подвергались детальному анализу и критической оценки.

Основные методы и материалы. Рассмотрим качественную оценку аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и стальной арматуры с учетом «ниспадающих ветвей». Кроме того, для построения моделей расчета железобетонных конструкций, особенно пространственных и массивных, авторами рекомендуется использовать нелинейный потенциал деформаций, свободный от недостатков уравнений состояния [23 – 42] и предложенный в работах [43 – 45]. Ниже для этого потенциала доказана теорема единственности и определены ограничения, накладываемые на материальные функции, устанавливаем

ые требованием выпуклости энергетической поверхности в соответствии с постулатом Друкера.

Общие сведения из механики деформируемого твердого тела об энергетической непротиворечивости уравнений состояния. Очевидно, что при построении уравнений состояния для любых материалов с учетом гипотезы сплошности среды вплоть до исчерпания ресурса пластичности, образования трещин и начала разрушения, необходимо соблюдать законы термодинамики и закон сохранения энергии [48 – 54]. При достижении временного сопротивления при растяжении образцов упругопластических материалов типа сталей происходит образование «шейки» пластичности (рис. 5). В бетонных образцах достижение временного сопротивления сжатию или растяжению сопровождается раздроблением сплошной структуры с образованием плоскостей разрушения (рис. 6). В указанные моменты наблюдается уменьшение эффективных поперечных сечений эталонных образцов, оказывающих сопротивление силовому воздействию.

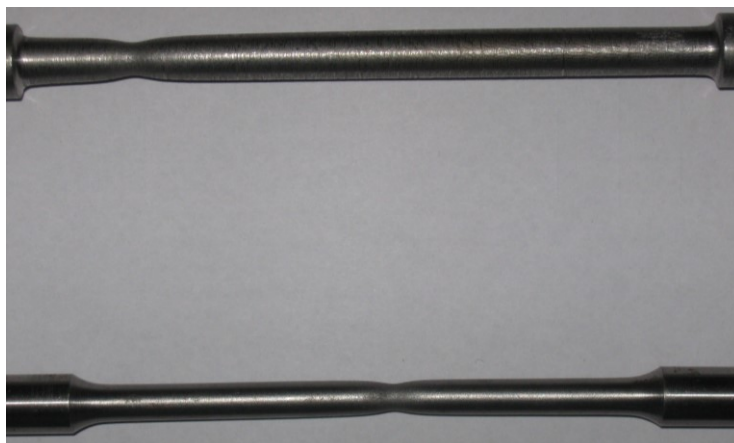


Рис. 5. Образование «шейки» пластичности у стальных образцов



Рис. 6. Начало раздробления бетонных призм при достижении максимального усилия на прессе

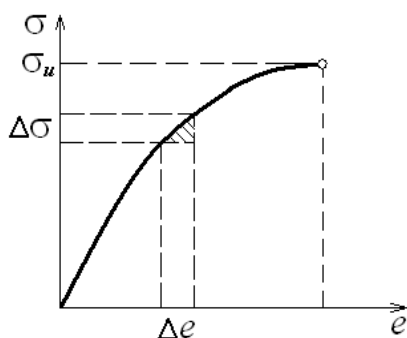


Рис. 7

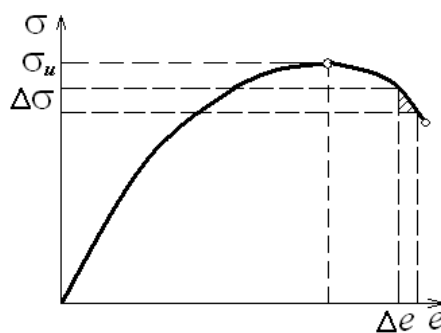


Рис. 8

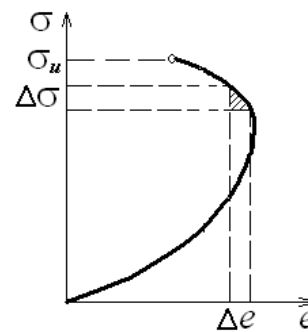


Рис. 9

Изначально при проведении механических испытаний как бетонных, так и стальных образцов, обработка экспериментальных данных и вычисление возникающих напряжений производится по отношению к начальным размерам их сечений, то есть в конфигурациях условных напряжений [48–54].

Таким образом, в процессе деформирования конструкционных материалов, при достижении временного сопротивления происходит не только изменение размеров исходных сечений эталонных образцов, но и изменение их начальной структуры. При этом конструкционных материалов обработку эмпирических данных необходимо проводить с использованием не условных напряжений, а истинных, как это продемонстрировано в фундаментальных трудах [48–54]. Тогда на диаграммах прирост компонентов напряжений должен приводить к росту деформаций. Обобщенная диаграмма деформирования должна не противоречить форме, приведенной на рис. 7. То есть дополнительное нагружение $\Delta\sigma > 0$ должно создавать дополнительную деформацию $\Delta\varepsilon > 0$ и их произведение $\Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon > 0$, а это свидетельствует о том, что приращение напряжения $\Delta\sigma > 0$ на дополнительной деформации $\Delta\varepsilon > 0$ совершает положительную работу. Материал при этом принято называть устойчивым [48–54].

В случае если на кривой диаграммы появляется «ниспадающая ветвь», то дальнейший рост деформации приводит к снижению напряжений (рис. 8), а, следовательно, на этом участке дополнительное напряжение $\Delta\sigma$ совершает отрицательную работу $\Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon < 0$. Материал, обладающий подобными диаграммами, трактуется как неустойчивый [48–54]. На самом деле при расчетах конструкций, выполненных из таких материалов, как показано выше и в фундаментальных работах по механике [48–54], целесообразно использовать не параметры условных напряжений, которые рассчитывались по начальным конфигурациям испытываемых образцов, а величины истинных напряжений с учетом изменения их эффективных площадей сечений, сопротивляющихся прикладываемым усилиям. Такой подход возможно применить к таким материалам по

структуре как сталь. При моделировании механического поведения бетона ввиду серьезного изменения не только начального сечения образцов, но и их структуры, простой пересчет напряжений не даст должного эффекта. Использование при этом «ниспадающих ветвей» также не дает преимуществ. На данном направлении перспективным представляется не учет одноосных «ниспадающих ветвей», а введение на этапе разработки расчетных моделей конкретных конструкций после образования трещин параметров или тензоров поврежденности сплошной среды [20–22].

Наличие диаграмм, у которых рост напряжений ведет к снижению деформаций, свидетельствует о том, что механическая работа, несомненно, отрицательна $\Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon < 0$ (рис. 9), а это совершенно не соответствует закону сохранения энергии, позволяя «бесплатно» выделять энергию.

Приведенные выше доводы свидетельствуют о том, что математически строго сформулированная деформационная теория композитных материалов должна не противоречить постулату Друкера, изначально примененному к упрочняющимся упругопластическим материалам [48–54]. С развитием механики применение этого постулата было расширено и распространено на уравнения состояния упругих изотропных и анизотропных материалов [50–55] и далее – на структуры, упругопластические деформационные свойства которых определяются в зависимости от вида напряженного состояния [37, 39, 43–45, 56].

На протяжении предыдущих 40 лет исследователи деформирования и прочности бетона стремились обосновать принимаемые аппроксимации «ниспадающих ветвей» одноосных диаграмм [1–16] (см. рис. 1, 4). Хотя для арматурных сталей диаграммы деформирования, вводимые в расчетные модели, преимущественно ограничивали уровнем, не превышающим временного сопротивления [22]. Во всех рассмотренных исследованиях отсутствует переход к истинным напряжениям, введение которых заметно усложнит расчетные модели, тем более, что это возможно для арматуры, а железобетонная конструкция в целом при образовании шейки



пластичности в стержнях уже находится в стадии разрушения. Стремление охарактеризовать деформирование бетона и других материалов на участках «ниспадающих ветвей» отчасти может быть оправдано только для балочно-стержневых конструкций, модели расчета которых ограничены одномерными задачи или сведенными к ним в случаях необходимости вычисления касательных напряжений в их сечениях.

Расчет более сложных конструкций при реализации в них двумерных или пространственных напряженных состояниях, которые реализуются в пластинах, оболочках, пространственных несущих остовах высотных зданий и в массивных гидросооружениях, использование диаграмм с «ниспадающими ветвями» бетона наталкивается на серьезные проблемы. Объяснение этому объясняется тем, что задачи механики существенно усложнились и получение замкнутых аналитических решений практически невозможно. Эти задачи принято решать с привлечением численных методов, среди которых широко востребованным является метод конечных элементов (МКЭ) различных классов [57 – 59]. Широкое распространение МКЭ и многих современных численных методов объясняется их построением в рамках вариаций функционалов энергетической природы, а законы механики требуют положительной определенности энергии, так как в противном случае нарушается закон сохранения энергии [37, 39, 43 – 45, 48 – 59], а численный алгоритм не дает решение.

Рекомендуемый потенциал деформаций, учитывающий чувствительность бетона к виду напряженного состояния. Для начально изотропных материалов, каковым до нагружения является бетон, в работах [43 – 45] ранее был предложен нелинейный потенциал деформаций, построенный с использованием двух нормированных векторных пространств напряжений. В этих же работах обоснована методика вычисления материальных функций по результатам обработки простейших опытов одноосного растяжения и сжатия, а также продемонстрированы преимущества получаемых уравнений состояния по сравнению с другими моделями. Впервые вариант нормированных пространств напряжений был приведен в работе [46] и усовершенствован в последующих исследованиях [43 – 45, 47].

Нелинейный потенциал деформаций [43 – 45] в наиболее универсальном нормированном пространстве, связанном с девиаторной площадкой, имеет вид:

$$W = (A_e + B_e \xi) \sigma^2 + (C_e + D_e \xi + E_e \eta \cos 3\phi) \tau^2 + [(A_p + B_p \xi) \sigma^2 + (C_p + D_p \xi + E_p \eta \cos 3\phi) \tau^2]^n, \quad (1)$$

где A_e, C_e, B_e, D_e, E_e – константы квазилинейной части, а A_p, C_p, B_p, D_p, E_p – константы нелинейной части потенциала, определяемые с

использованием метода наименьших квадратов (см. [43 – 45]); n – показатель нелинейности материала не обязательно целое число (см. [43 – 45]); $\cos \psi = \xi = \sigma / S_0$ – нормированные нормальные напряжения; $\sin \psi = \eta = \tau / S_0$ – нормированные касательные напряжения; $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – норма векторного пространства при существовании условия нормировки $\xi^2 + \eta^2 = 1$; $\sigma = \delta_{ij} \sigma_{ij} / 3$ – гидростатическое напряжение; $\tau = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} / 3$ – октаэдрическое касательное напряжение; $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma$ – девиатор напряжений; δ_{ij} – символы Кронекера; ψ – угол между нормалью к девиаторной площадке и вектором S_0 ; $\cos 3\phi = \sqrt{2} \det(S_{ij}) / \tau^3$ – фазовый инвариант напряжений.

Связь тензоров деформаций и напряжений для физически нелинейных материалов можно установить путем дифференцирования потенциала (1) согласно правилам Кастильяно:

$$e_{kk} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{kk}}; \quad \gamma_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \tau_{ij}}, \quad (i, j, k = 1, 2, 3, i \neq j). \quad (2)$$

Результаты дифференцирования по формулам (2) и значения констант для бетонов и других разносопротивляющихся материалов приведены в работах [43 – 45].

Единственность решения и проверка постулата Друкера для рекомендованного потенциала. При формулировке определяющих уравнений применительно к материалам любой структуры при соблюдении гипотезы сплошности, как доказано в работах [50, 52 – 56], необходимо выполнять проверку энергетической непротиворечивости в соответствии с постулатом Друкера и осуществлять доказательство единственности решений. Известно, что у проблемы обеспечения единственности решений в механике существуют два аспекта, первый, из которых разрешается в обеспечении выпуклости энергетической поверхности потенциала деформаций, определяемой благодаря постулату Друкера [37, 39, 50, 52, 54 – 56]:

$$\delta e_{ij} \delta \sigma_{ij} = \frac{\delta^2 W}{\delta \sigma_{km} \delta \sigma_{ij}} \delta \sigma_{km} \delta \sigma_{ij} \geq 0. \quad (3)$$

Применение условия (3) к потенциалу деформаций (1) позволяет выделить квадратичные формы двух видов, а их положительная определенность обеспечивает выпуклость энергетической поверхности потенциала и устанавливает ограничения, накладываемые на материальные функции. В общем случае построение потенциала деформаций W (1) в рамках параметров нормированного пространства представлялось в виде его исходных функций от



ψ, ϕ, S_0 , а в этом случае условие (3) в более подробной форме выглядит следующим образом:

$$\delta\sigma_{ij}\delta\epsilon_{ij} = \delta\left(\frac{\partial W}{\partial S_0}\right)\delta S_0 + \delta\left(\frac{\partial W}{\partial \psi}\right)\delta\psi + \delta\left(\frac{\partial W}{\partial \phi}\right)\delta\phi + \left[\frac{\partial W}{\partial S_0}\delta\left(\frac{\partial S_0}{\partial \sigma_{ij}}\right) + \frac{\partial W}{\partial \psi}\delta\left(\frac{\partial \psi}{\partial \sigma_{ij}}\right) + \frac{\partial W}{\partial \phi}\delta\left(\frac{\partial \phi}{\partial \sigma_{ij}}\right)\right]\delta\sigma_{ij} \geq 0. \quad (4)$$

Совокупность вариаций (4) распадается на две квадратичные формы, первая из которых зависит от инвариантных функциональных аргументов ψ, ϕ, S_0 , а вторая – от $\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{13}$. Первая форма, отвечающая за изменение инвариантов ψ, ϕ, S_0 , сводится к проверке матричного неравенства:

$$C_{ij}\delta\zeta_i\delta\zeta_j \geq 0; \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (5)$$

где $\zeta_1 = S_0$; $\zeta_2 = \psi$; $\zeta_3 = \phi$ – аргументы матрицы, обладающей симметрией, элементы которой определяются в соответствии с процедурой (4):

$$C_{11} = \frac{\partial^2 W}{\partial S_0^2} = 2B_e\xi^3 + 2B_e\xi\eta^2 + 2E_e\eta^3 \cos 3\phi + 2A_e\xi^2 + 2C_e\eta^2 + n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)}(2A_p\xi^2 + 2C_p\eta^2 + 2B_p\xi^3 + 2D_p\xi\eta^2 + 2E_p\eta^3 \cos 3\phi) + 4S_0^2 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-2)}(B_p\xi^3 + D_p\xi\eta^2 + A_p\xi^2 + C_p\eta^2 + E_p\eta^3 \cos 3\phi)^2;$$

$$C_{12} = \frac{\partial^2 W}{\partial S_0 \partial \psi} - \frac{1}{S_0} \cdot \frac{\partial W}{\partial \psi} = S_0[2(C_e - A_e)\xi\eta - 3B_e\xi^2\eta - D_e\eta(\eta^2 - 2\xi^2) + 3E_e\xi\eta^2 \cos 3\phi] + 2S_0^3 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-2)}(B_p\xi^3 + D_p\xi\eta^2 + A_p\xi^2 + C_p\eta^2 + E_p\eta^3 \cos 3\phi)[2(C_p - A_p)\xi\eta - 3B_p\xi^2\eta - D_p\eta(\eta^2 - 2\xi^2) + 3E_p\xi\eta^2 \cos 3\phi] + S_0 n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)}[2(C_p - A_p)\xi\eta - 3B_p\xi^2\eta - D_p\eta(\eta^2 - 2\xi^2) + 3E_p\xi\eta^2 \cos 3\phi];$$

$$C_{13} = \frac{\partial^2 W}{\partial S_0 \partial \phi} - \frac{1}{S_0} \cdot \frac{\partial W}{\partial \phi} = -3S_0 E_e \eta^3 \sin 3\phi - 3S_0 n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)} E_p \eta^3 \sin 3\phi - 6S_0^3 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-2)} E_p \eta^3 \sin 3\phi (B_p\xi^3 + D_p\xi\eta^2 + A_p\xi^2 + C_p\eta^2 + E_p\eta^3 \cos 3\phi);$$

$$C_{22} = \frac{\partial^2 W}{\partial \psi^2} + S_0 \cdot \frac{\partial W}{\partial S_0} = S_0^2[2(A_e - C_e)(\eta^2 - \xi^2) + 2(A_e\xi^2 + C_e\eta^2) + B_e\xi(2\eta^2 - \xi^2) + D_e\xi(2\xi^2 - 5\eta^2) + E_e\eta(6\xi^2 - \eta^2)\cos 3\phi] + S_0^2 n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)}[2(A_p - C_p)(\eta^2 - \xi^2) + 2(A_p\xi^2 + C_p\eta^2) + B_p\xi(2\eta^2 - \xi^2) + D_p\xi(2\xi^2 - 5\eta^2) +$$

$$+ E_p\eta(6\xi^2 - \eta^2)\cos 3\phi] + S_0^4 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-2)}[2(C_p - A_p)\xi\eta - 3B_p\xi^2\eta - D_p\eta(\eta^2 - 2\xi^2) + 3E_p\xi\eta^2 \cos 3\phi]^2;$$

$$C_{23} = \frac{\partial^2 W}{\partial \psi \partial \phi} - \frac{\xi}{\eta} \cdot \frac{\partial W}{\partial \phi} = -6S_0^2 E_e \xi \eta^2 \sin 3\phi - 6S_0^2 n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)} E_p \xi \eta^2 \sin 3\phi - 3S_0^4 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)]^{(n-2)} \times E_p \eta^3 \sin 3\phi [2(C_p - A_p)\xi\eta - 3B_p\xi^2\eta - D_p\eta(\eta^2 - 2\xi^2) + 3E_p\xi\eta^2 \cos 3\phi];$$

$$C_{33} = \frac{\partial^2 W_1}{\partial \phi^2} + S_0 \eta^2 \cdot \frac{\partial W_1}{\partial S_0} + \xi \eta \frac{\partial W_1}{\partial \psi} = S_0^2 \eta^2 [2(C_e - A_e)\xi^2 + 2(A_e\xi^2 + C_e\eta^2) - B_e\xi^2 + D_e\xi(2\xi^2 + \eta^2) + E_e\eta(3\xi^2 + 2\eta^2 - 9)\cos 3\phi] + S_0^2 \eta^2 n[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-1)}[2(C_p - A_p)\xi^2 + 2(A_p\xi^2 + C_p\eta^2) - B_p\xi^2 + D_p\xi(2\xi^2 + \eta^2) + E_p\eta(3\xi^2 + 2\eta^2 - 9)\cos 3\phi] + S_0^4 n(n-1)[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta \cos 3\phi)\tau^2]^{(n-2)}(E_p\eta^3 \sin 3\phi)^2.$$

Для симметричной матрицы [C] достаточным и необходимым условиями положительной определенности в соответствии с критерием Сильвестра является обязательность положительности ее главных миноров, то есть:

$$\Delta_1 = C_{11} \geq 0; \quad \Delta_2 = C_{22} \geq 0; \quad \Delta_3 = C_{33} \geq 0;$$

$$\Delta_4 = C_{11}C_{22} - C_{12}^2 \geq 0;$$

$$\Delta_5 = C_{11}C_{33} - C_{13}^2 \geq 0; \quad \Delta_6 = C_{22}C_{33} - C_{23}^2 \geq 0;$$

$$\Delta_7 = \det[C_{ij}] \geq 0.$$

Для второй квадратичной формы, завязанной с поворотом осей, положительная определенность устанавливается в результате проверки неравенства:

$$|\omega| \leq \pi/3, \quad (6)$$

где ω – разность фаз напряжений и деформаций.

При этом известно [37, 50 – 55], что неравенство (6) определяет весь интервал изменения фазы подобия девиаторов напряжений и деформаций и, следовательно, квадратичная форма номер два всегда неотрицательна.

Другая сторона проблемы доказательства единственности при выполнении условия устойчивости энергетической функции по Друкеру [37, 50 – 55] решается прямым подтверждением справедливости этой теоремы. Обычно для доказательства теоремы единственности используются простые математические манипуляции, заключающиеся в начальной записи системы уравнений механики деформируемого твердого тела в полном объеме. Очевидно, что уравнения равновесия могут быть представлены в виде:



$\sigma_{ij,j} + F_i = 0$. Связи компонентов тензоров деформаций и напряжений определяются в соответствии с процедурой Кастильяно (2). При малых деформациях, которые возникают вплоть до разрушения бетонных и железобетонных конструкций, зависимости между перемещениями и компонентами тензора деформаций определяются уравнениями Коши: $e_{ij} = 0,5(u_{i,j} + u_{j,i})$.

Далее делается предположение, что поверхностный контур деформируемого тела A составлен двумя областями: $A = A_U + A_T$, а в отдельной точке поверхности, имеющей координаты x_i существуют зависимости:

$$u_i = u_i^*, \quad x_i \in A_U; \quad \sigma_{ij} n_j = T_i^*, \quad x_i \in A_T. \quad (7)$$

После этого предполагается, что одинаковые объёмные силы при одинаковых граничных условиях определены двумя несовпадающими решениями $\sigma'_{ij}, e'_{ij}, u'_i$ и $\sigma''_{ij}, e''_{ij}, u''_i$. Одним и двумя штрихами отмечены бесконечно близкие состояния деформируемого тела, что указывает на то, что и разности $\sigma_{ij} = \sigma'_ij - \sigma''_{ij}$, $e_{ij} = e'_ij - e''_{ij}$, $u_i = u'_i - u''_i$ обязательно, бесконечно малы, удовлетворяя уравнениям равновесия при $F_i = 0$ и контурных нулевых напряжениях: $\sigma_{ij} n_j = 0$, $x_i \in A_T$; $u_i = 0$, $x_i \in A_U$. Для бесконечно малых σ_{ij} , e_{ij} , отбрасывая малые величины высших порядков малости, приходим к очевидным зависимостям:

$$e_{ij} = \frac{\partial^2 W}{\partial \sigma_{km} \partial \sigma_{ij}} \sigma_{km}. \quad (8)$$

Тогда опуская из рассмотрения объёмные силы $F_i = 0$, выполнив домножение параметров статики на u_i и проведя интегрирование по объёму, получаем уравнение:

$$\int_V \sigma_{ij,j} u_i dV = \int_V (\sigma_{ij} u_i)_{,j} dV - \int_V \sigma_{ij} e_{ij} dV = 0. \quad (9)$$

В случае принятых нулевых граничных условиях $\sigma_{ij} n_j = 0$, $x_i \in A_T$; $u_i = 0$, $x_i \in A_U$ интеграл $\int_V (\sigma_{ij} u_i)_{,j} dV = \int_A \sigma_{ij} n_j u_i dA$ по формуле Остроградского – Гаусса приводится к нулю и с учетом зависимостей (8), получаем

$$\int_V \sigma_{ij} e_{ij} dV = \int_V \frac{\partial^2 W}{\partial \sigma_{ij} \partial \sigma_{km}} \sigma_{ij} \sigma_{km} dV. \quad (10)$$

Выполнение постулата Друкера, устанавливаемого неравенствами (3), (4), (5), подтверждает, что подынтегральное выражение положительно при $\sigma_{km} \neq 0$, а равенство интеграла нулю достигается только при нулевых σ_{ij} . Этот факт свидетельствует о доказанности теоремы единственности, а потенциал деформаций (1) можно рекомендовать для использования при расчете конструкций, выполненных из

композитных материалов чувствительных к виду напряженного состояния, каковым являются бетон и железобетон.

Заключение. Виду изменения начальной конфигурации, то есть сечений образцов композитных (типа бетонов, полимеров, других полухрупких тел) и даже однородных материалов (типа стальных стержней или профильного проката), обладающих определенным ресурсом пластичности и проявляющих упрочнение в процессе деформирования, попытки внести уточнения в расчетные модели конструкций за счет учета ниспадающих ветвей диаграмм зачастую не совсем оправданы. Если к моделированию экспериментальных данных по нагружению эталонных образцов подходить не упрощенным способом вычисления условных напряжений для начальных конфигураций, а строго соблюдая законы нелинейной механики и определять истинные напряжения, или учитывать изменение структуры материалов, вводя параметры или тензоры поврежденности, но уже в методики расчета конструкций, то ниспадающие ветви диаграмм пропадают. Конечно учет ниспадающих ветвей допустим, но при расчете стержневых элементов балочного типа, а для пространственных конструкций и массивных сооружений он приводит к нарушению закона сохранения энергии в рамках гипотезы сплошности. Поэтому ввиду большого разнообразия композитных материалов, проявляющих нетрадиционные, с точки зрения классической механики, свойства, при постулировании уравнений состояния для них, необходимо проверить соблюдение постулата устойчивости по Друкеру (3).

Таким образом, потенциал деформаций (1), как показала проверка условий (3) – (6) и доказанная теорема единственности решений, можно рекомендовать для деформационно-прочностных расчетов конструкций, выполненных из композитных материалов типа бетона и железобетона [17 – 22], графитокомпозитов марок АРВ и ВПП [43 – 45], фторопласта [26], серых чугунов [23, 24]. Сравнения экспериментальных диаграмм « $\sigma_{ij} - e_{km}$ », полученных при сложных видах напряженного состояния, с теоретически рассчитанными и представленными в инвариантных координатах для этих материалов приведены в работах [43 – 45, 47]. Данные сравнения продемонстрировали высокую точность и универсальность потенциала (1). Определяющие соотношения для однородных структур неоднократно подвергались подобным проверкам, результаты их широко известны [48 – 55] и здесь это обсуждению не подлежит.

Список источников

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 118 с.



2. Бондаренко, В.М. Влияние нисходящей ветви режимного силового сопротивления бетона на несущую способность железобетонных конструкций / В.М. Бондаренко, М.Е. Башкатова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007. – №3. – С. 53 – 56.
3. Башкатова, М.Е. Интегральный модуль деформаций с учетом ниспадающей ветви диаграммы "ε–σ" / М.Е. Башкатова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2008. – №1. – С. 50 – 53.
4. Карпенко, Н.И. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры / Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин // Строительство и реконструкция. – 2012. – №2(40). – С. 11 – 20.
5. Карпенко, Н.И. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной схеме / Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №1. – С. 25–30.
6. Карпенко, Н.И. О формировании физических соотношений для бетонных элементов при объемном напряженном состоянии в приращениях / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко // Жилищное строительство. – 2015. – №3. – С. 10–13.
7. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
8. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
9. Мурашкин, Г.В. Моделирование диаграмм деформирования бетона и схем напряженно-деформированного состояния / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин // Известия вузов. Строительство. – 1997. – № 10. – С. 4–6.
10. 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.
11. Назаренко, В.Г. Диаграмма деформирования бетонов с учетом ниспадающей ветви / В.Г. Назаренко, А.В. Боровских // Бетон и железобетон. – 1999. – №2. – С. 5 – 19.
12. Радайкин, О.В. К построению диаграмм деформирования при одноосном кратковременном растяжении /сжатии с применением критерия повреждаемости / О.В. Радайкин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №6. – С. 71 – 78.
13. Радайкин, О.В. Сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона по критерию энергозатрат на деформирование и разрушение / О.В. Радайкин // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2019. – №10. – С. 29 – 39.
14. Carreira D.J. Stress – strain relationship for plain concrete in compression / D.J. Carreira, K.H. Chu // ACI Journal Proceedings. ACI. 1985. P. 797 – 804.
15. Integral parameters of concrete diagrams for calculations of strength of reinforced concrete elements using the deformation model / V.A. Eryshev, N.I. Karpenko, A.O. Zhemchuyev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Vol. 16, Issue 1. – С. 25 – 37.
16. Панфилов, Д.А. Обзор существующих диаграмм деформирования бетона при сжатии в отечественных и зарубежных нормативных документах / Д.А. Панфилов, А.А. Пищулев, К.И. Гималетдинов // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 80–83.
17. Bazant Z.P. Endochronic Theory of Inelasticity and Failure of Concrete / Z.P. Bazant, P.D. Bhat // Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE. – 1976. – Vol. 102. – № EM4. – P. 701–722.
18. Tasuji M.E. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading / M.E. Tasuji, F.O. Slate, A.H. Nilson // ACI Journal. – 1979. – №7. – P. 806–812.
19. Kupfer H.B. Das nicht-linear Verhalten des Betons bei Zweiachsiger Beanspruchung / H.B. Kupfer // Beton und Stahlbetonbau. – 1973. – №11. – P. 269–274.
20. Treshchev A.A. The Analysis of Stress-Strain State of Multi Storied Building Made of Cast Reinforced Concrete With Consideration of Effects of Different Resistance And Cracking / A.A. Treshchev, V.G. Telichko, N.V. Zolotov, A.R. Ibragimov, A.A. Bobrishev // Revista Publicando. – 2017. – Vol. 4. – No 13 (2). – P. 249-263.
21. Treshchev A.A. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking / A.A. Treshchev, L.N. Shafigullin, V.G. Telichko, V.T. Erofeev // Astra Salvensis. – 2017. – No 2. – P. 77–91.
22. Трещев, А.А. Теория деформирования пространственных железобетонных конструкций / А.А. Трещев, В.Г. Теличко. - М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2019. – 386 с
23. Леонов, М.Я. Зависимости между деформациями и напряжениями для полухрупких тел / М.Я. Леонов, В.А. Паняев, К.Н. Русинко // Инж. журн. МТТ. – 1967. – № 6. – С. 26 – 32.
24. Писаренко, Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
25. Романов, В.В. Исследование зависимости модуля упругости шлакокаменитого материала от вида нагружения / В.В. Романов // Физ.-хим. исслед. по технологии стекла и ситалов. – М.: Наука, 1984. – С. 78–81.
26. Елсуфьев, С.А. Изучение деформирования фторопласта в условиях плоского напряженного состояния / С.А. Елсуфьев, В.М. Чебанов // Исслед. по упругости и пластичности. 1971. – Вып. 8. – С. 209–213.
27. Schmuesser D.W. Nonlinear Stress-Strain and Strength Response of Axisymmetric Bimodulus Composite Material Shells / D.W. Schmuesser // AIAA Journal. – 1983. – V. 21. – №12. – P. 1742 – 1747.
28. Bert C.W. On the Behavior of Plates Laminated of Bimodulus Composite Materials / C.W. Bert, L.N. Reddy, // ZAMM. – 1982. – V. 62. – № 6. – P. 213 – 219.
29. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Material / R.M. Jones // AIAA Journal. – 1980. – V. 18. – № 8. – P. 995 – 1001.
30. Reddy J.N. Nonlinear bending of bimodular-material plates / J.N. Reddy, W.C. Chao // J. Solids a. Structures, 1983. – Vol. 19. – N 3. – P. 229 – 237.
31. Nelson D.A. Theoretical and experimental correlation of material models for non-linear deformation of graphite / D.A. Nelson, R.M. Jones, // AIAA Journal. – 1976. – V. 14 – №10. – P. 1427–1435.



32. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M. Jones // *AIAA Journal*. – 1977. – V. 15. – №1. – P. 16–25.
33. Шапиро, Г.С. О деформациях тел, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию / Г.С. Шапиро // *Инж. журн. МТТ*. – 1966. – №2. – С. 123–125.
34. Матченко, Н.М. О связи между напряжениями и деформациями в разномодульных изотропных средах / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников // *Инж. журн. МТТ*. – 1968. – №6. – С. 108–110.
35. Панферов, В.М. Теория упругости и деформационная теория пластичности для тел с различными свойствами на сжатие, растяжение и кручение / В.М. Панферов // *Докл. АН СССР*. – 1968. – Т. 180. – №1. – С. 41–44.
36. Быков, Д.Л. О некоторых соотношениях между инвариантами напряжений и деформаций в физически нелинейных средах / Д.Л. Быков // *Упругость и неупругость*. 1971. – Вып. 2. – С. 114 – 128.
37. Цвелодуб, И.Ю. К разномодульной теории упругости изотропных материалов / И.Ю. Цвелодуб // *Динамика сплошной среды*. – Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО АН СССР, 1977. – Вып. 32. – С. 123–131.
38. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
39. Амбарцумян, С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1982. 320 с.
40. Петров, В.В. Деформирование элементов конструкций из нелинейно разномодульного неоднородного материала / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, В.К. Иноземцев. – Саратов: СГУ, 1989. – 160 с.
41. Березин, А.В. О законах деформирования разномодульных дилатирующих сред / А.В. Березин // *Проблемы машиностроения и автоматизации. Международный журнал ИМАШ РАН*. – 2007. – №2. – С. 70–72.
42. Пахомов Б.М. Применение теории собственных напряжений к описанию нелинейного деформирования разнотвердых тел / Б.М. Пахомов // *Вестник МВТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. – 2015. – №2. – С. 91–106.
43. Ковалев, Д.Г. Исследование упругопластического деформирования разнотвердых тел / Д.Г. Ковалев, А.А. Трещев // *Изв. высших учеб. заведений. Строительство*. – 1999. – №8. – С. 29–33.
44. Матченко, Н.М. Определяющие соотношения изотропных разнотвердых тел. Ч. 2. Нелинейные соотношения / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников, А.А. Трещев // *Изв. РАН. МТТ*. – 1999. – №4. – С. 87–95.
45. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разнотвердых тел. – Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.
46. Трещев, А.А. О соотношениях теории упругости для изотропного разномодульного тела / А.А. Трещев, Н.М. Матченко // *ТПИ.–Тула, 1982*. – 4 с. – Деп. в ВИНТИ 27.04.82, №2056-82.
47. Матченко, Н.М. Определяющие соотношения изотропных разнотвердых тел. Ч. 1. Квазилинейные соотношения / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников, А.А. Трещев // *Изв. РАН. МТТ*. – 1995. – №1. – С. 73–78.
48. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. – Часть 1: Малые деформации / Дж.Ф. Белл. – М.: Наука, 1984. – 600 с.
49. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. – Часть 2: Большие деформации / Дж.Ф. Белл. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
50. Качанов Л.М. Основы теории пластичности - М.: Наука, 1969. 420 с.
51. Новожилов В.В. Теория упругости – Л.: Судпромгиз, 1958. 370 с.
52. Толоконников Л.А.: Механика деформируемого твердого тела. - М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.
53. Теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
54. Нелинейная теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1980. 612 с.
55. Турсунов, Б.С. О свойствах потенциала напряжений упругих тел / Б.С. Турсунов // *ПММ*. – 1970. – Т. 34. – Вып. 1. – С. 15–22.
56. Ломакин, Е.В. О единственности решения задач теории упругости для изотропного разномодульного тела / Е.В. Ломакин // *Изв. АН СССР. МТТ*. – 1979. – №2. – С. 42–45.
57. Голованов, А.И. Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел / А.И. Голованов, Д.В. Бережной - Казань: ДАС, 2001. – 301 с.
58. Голованов, А.И. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций / А.И. Голованов, О.Н. Тюленева, А.Ф. Шигабутдинов - М.: Физматлит, 2006. – 392 с.
59. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals 7th Edition / O.C. Zienkiewicz, R.L.Taylor, J.Z.Zhu. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 756 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.

РЕЦЕНЗИИ

Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура

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

РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «БОЛЬШОЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ СЛОВАРЬ». АВТОРЫ: РИМШИН В.И., КЕЦКО Е.С., ТРУНТОВ П.С.

© Автор 2022

SPIN: 4425-5045

AuthorID: 161483

ORCID: 0000-0001-8407-8144

ScopusID: 56662851300

ResearcherID: A-7827-2017

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, академик РААСН,

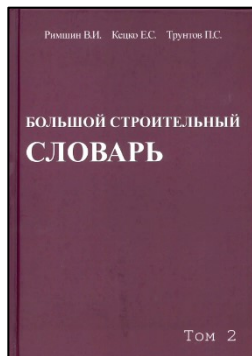
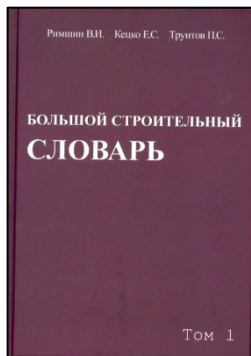
доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой строительных материалов и технологий

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

(430005, Россия, Саранск, ул. Большевистская, 68,

e-mail: yerofeevvt@mail.ru)



В учебном пособии приводятся термины и определения в области строительной отрасли, расположенные в алфавитном порядке, изученные, систематизированные и опирающиеся на современную действующую нормативную базу сводов правил и государственных стандартов, действующих в нашей стране в русле Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Разрабатываемый словарь содержит все актуальные на сегодняшний период терминологические новинки строительной отрасли. Изданные ранее работы подобного типа устарели и абсолютно не отвечают современному уровню развития отрасли.

Словарь предназначен для специалистов строительных и подведомственных организаций, проектных институтов, служб заказчика, которые занимаются строительством, проектированием, реконструкцией, санацией, капитальным ремонтом жилых, промышленных и общественных зданий и инженерных сооружений. В связи с этим, материалы учебного пособия «Большой строительный словарь» рекомендуются к опубликованию в открытой печати.

Review article

REVIEW OF THE MANUAL “BIG CONSTRUCTION DICTIONARY”. AUTHORS: RIMSHIN V.I., KETSKO E.S., TRUNTOV P.S.

© The Author 2022

EROFEEV Vladimir Trofimovich, Academician of the RAACS,

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Building Materials and Technologies

Mordovian State University N.P. Ogaryova

(430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68, e-mail: yerofeevvt@mail.ru)

The training manual provides terms and definitions in alphabetical order in the field of the construction industry. These terms and definitions are studied, systematized and based on the current regulatory framework of the practice codes and state standards, operating in our country in line with the Decree of the President of the Russian Federation from May 7, 2018 204 “On the national goals and strategic development objectives of the Russian Federation for the period up to 2024”.



The developing dictionary contains all current terminological novelties of the construction industry. Previously published works of this type are outdated and do not correspond to the current level of the industry.

The dictionary is intended for specialists of construction and subordinate spheres, institutes, customer services, who are engaged in construction, design, reconstruction, sanitation, major repair of residential, industrial and public buildings and engineering facilities.

In this regard, materials of the training manual "Big Construction Dictionary" are recommended for publication.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022; принята к публикации 15.03.2022.

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 09.02.2022; accepted for publication 15.03.2022.

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

АВТОРАМ

Автор(ы), самостоятельно направляя научную статью, принимают на себя следующие обязательства: передают редакции журнала «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 журнала.

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 журнале.

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 журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала;
- редакция журнала имеет право предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
- редакция журнала 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 журнале.

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 журнала
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»*



ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИЯМ В ЖУРНАЛЕ

«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» (в Перечне ВАК, двухлетний ИФ в РИНЦ – 0,935)

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 (естественные науки);
- 5.1. – Право (социальные и гуманитарные науки).

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.

(подводятся 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 2022 году - это статьи 2018-2022 годов).

Технические параметры:

Названия файла:

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

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

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

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

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

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

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы.

Сканированные рисунки исполнять с отдельной возможностью не менее 300 dpi.

Справочная информация:

1. Для определения УДК можно использовать следующие ссылки:

А) <http://teacode.com/online/udc/>

Б) <http://www.naukapro.ru/metod.htm>

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна **в системе АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее 75%, *в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов*):

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

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

Размещение статей в журнале платное.

Оплата производится после получения вами **сообщения** о приеме статьи к публикации, после чего автором высылается скриншот или фото оплаты через Сбербанк-онлайн или через другие банки-онлайн на адрес журнала: expert763@mail.ru

Статью высылать по адресу: expert763@mail.ru



Для записей

Научно-практический журнал

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 2 (17) 2022 г.

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

Материалы представлены в авторской редакции
Компьютерная верстка О.В. Егоровой
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Дата выхода в свет 20.04.2022. Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Уч.-изд. л. 13,17. Усл.-печ. л. 11,39 (12,25). Тираж 1000 экз. Первый завод 100 экз.
Распространяется бесплатно. Заказ № 95.

Издатель - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401.

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО "СГЭУ".
443090, Самарская область, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141.

Scientific and Practical Journal

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 2 (17) 2022

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

Approved for publication 20.04.2022. Format 60x84/8. Offset paper.

Type "Calibri Light". Offset printing.

Publisher's signatures 13,17. Printed signatures 11,39 (12,25).

Circulation 1000 copies.

Publishing house INO "IFCTE".
445047, office 401, the house 35A, Southern Highway,
Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru

Printed in the Printing House of Samara State University of Economics.
443090, Samara, ulitsa Sovetskoi Armii, 141.