

ISSN 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2022, № 3 (18) ЭЛЕКТРОННЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Expert:
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти / Toiyatti



ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2022, №3 (18) ЭЛЕКТРОННЫЙ
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 4 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 **ЭЛ № ФС 77-83498** от 24.06.2022 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 Владислав 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 Разакович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн и строительство», «Баишев Университет» (Казахстан, Актобе)

КАПРИЕЛОВ Семен Суменович – 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)

РИМШИИН 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 4 times a year.
Prefix DOI: 10.51608/26867818

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

The 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. SELYAIEV – 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. TRESCHIEV – 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 technologiju 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)
КОРОБКО Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева
КОРОБКО Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева
КОРОСТЕЛЕВ Александр Алексеевич – доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры информатики, прикладной математики и методики их преподавания, Поволжский государственный университет сервиса (Тольятти, Россия)
КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – 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)
РАХИМОВ Равиль Зуфарович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный строитель, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, Лауреат Государственной премии по науке и технике РТ, доктор технических наук, профессор, советник ректора, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)
САЛИЕВА Роза Наильевна – доктор юридических наук, профессор, заведующий лабораторией правовых проблем недропользования, экологии и топливно-энергетического комплекса, Академия наук Республики Татарстан
САЛИМОВА Татьяна Анатольевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Россия)
СЕРОВА Ольга Александровна – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет
СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Россия)
СОКОЛОВ Борис Сергеевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ, лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипрониавиапром"
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)

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

Vitaly G. KOTLOV – 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)

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

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

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

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

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

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

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

С ДНЁМ СТРОИТЕЛЯ!.....	11
Поздравляем Владимира Ильича Травуша, академика РААСН, с присуждением ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ 2021 года Петров В.В., Акимов П.А., Беккер А.Т., Белостоцкий А.М., Ерофеев В.Т., Каприелов С.С., Маилян Л.Р., Селяев В.П., Вавренюк С.В., Куприянов В.Н., Потапов А.Н., Рахимов Р.З., Римшин В.И., Сколубович Ю.Л., Соколов Б.С., Трещев А.А., Анпилов С.М.....	13
Поздравляем с 70-лЕТИЕМ академика РААСН Белостоцкого А.М.	16
Поздравляем с 65-лЕТИЕМ член-корреспондента РААСН Римшина В.И.	18
Поздравляем с 65-лЕТИЕМ Анпилова С.М. Селяев В.П.	20

ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОСОБЕННОСТИ ДОГОВОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАЖДАНСКО-ПРАВОВЫХ ОТНОШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ УЧАСТИЕ ИНЖЕНЕРА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЯЛИЛОВ АйнуР ДамиРович	22
---	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ В РАМКАХ ЕГО ПЕРЕУСТРОЙСТВА АНПИЛОВ Сергей Михайлович, РИМШИН Владимир Иванович, КУРБАТОВ Владимир Леонидович, КЕЦКО Екатерина Сергеевна, КУЗИНА Ирина Сергеевна	28
РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛИ И СТЕКЛОБОЯ БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна, ПЧЕЛЬНИКОВА Виктория Александровна.....	34
ОПИСАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРИ РАЗГРУЗКЕ С НАПРЯЖЕНИЙ СЖАТИЯ ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич, ЖЕМЧУЕВ Артур Олегович	39
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ КАНАЕВА Надежда Сергеевна, НИЗИН Дмитрий Рудольфович, НИЗИНА Татьяна Анатольевна	42
НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕТОНА МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ НА ПЛЕНОЧНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ КРЮЧКОВ Виктор Алексеевич, КРЮЧКОВ Максим Викторович, ЮСИФОВ Рауф Юсифович, ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович, ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна.....	47
ОБЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ «ВЫСОТНЫЙ ОБЪЕКТ – НЕЛИНЕЙНОЕ ОСНОВАНИЕ» МУРТАЗИНА Гульсем Расимовна	54
ГИБРИДНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СМИРНОВА Ольга Михайловна, КАЗАНСКАЯ Лилия Фаатовна	59

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЁРДОГО ТЕЛА

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ ПРОХОРОВА Алла Валерьевна, Прохоров Петр Дмитриевич.....	66
ТРЕЩИНА НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ТОНКОЙ ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНКИ ИЗ КОМПОЗИТНОГО ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА ТЕЛИЧКО Виктор Григорьевич.....	70

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ ПО УРОВНЮ ПЛОТНОСТИ МЕЖПРЕДМЕТНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ОЦЕНОК ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич	75
К 94-летию со дня рождения В.И. Соломина ПОТАПОВ Александр Николаевич.....	79
<i>Условия размещения материалов.....</i>	83

CONTENT

HAPPY BUILDER'S DAY!	11
CONGRATULATIONS TO VLADIMIR ILYICH TRAVUSH, RAACS ACADEMICIAN, WITH THE 2021 STATE PRIZE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY Petrov V.V., Akimov P.A., Bekker A.T., Belostotskiy A.M., Erofeev V.T., Capriellov S.S., Mailyan L.R., Selyaev V.P., Vavrenyuk S.V., Kupriyanov V.N., Potapov A.N., Rakhimov R.Z., Rimshin V.I., Skolubovich Yu.L., Sokolov B.S., Treshev A.A., Anpilov S.M.	13
CONGRATULATIONS ON THE 70TH BIRTHDAY OF RAACS ACADEMICIAN BELOSTOTSKY A.M.	16
CONGRATULATIONS ON THE 65TH BIRTHDAY OF RAACS CORRESPONDING MEMBER RIMSHIN V.I.	18
CONGRATULATIONS ON THE 65TH BIRTHDAY OF ANPILOV S.M. Selyaev V.P.	20

LEGAL SCIENCES

THE FEATURES OF CONTRACTUAL REGULATION OF CIVIL LAW RELATIONS ENSURING THE PARTICIPATION OF AN ENGINEER IN BUILDING PROCESS YALILOV Aynur Damirovich	22
--	----

TECHNICAL SCIENCE. BUILDING AND ARCHITECTURE

TECHNICAL EXPERTISE OF LOAD-BEARING CONSTRUCTIONS OF AN ADMINISTRATIVE BUILDING AS PART OF ITS RECONSTRUCTION ANPILOV Sergey Mikhailovich, RIMSHIN Vladimir Ivanovich, KURBATOV Vladimir Leonidovich, KETSKO Ekaterina Sergeevna, KUZINA Irina Sergeevna	28
DEVELOPMENT OF COMPOSITE GYPSUM BINDERS USING CERAMIC DUST AND GLASS BARKOVSKAY Svetlana Vladimirovna, PCHELNIKOVA Viktoriy Aleksandrovna	34
DESCRIPTION OF CURVILINEAR DIAGRAM OF CONCRETE DEFORMATION DURING UNLOADING FROM COMPRESSION STRESS ERYSHEV Valery Alekseevich, ZHEMCHUEV Artur Olegovich	39
RELAXATION PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS BASED ON EPOXY BINDERS KANAEVA Nadezhda Sergeevna, NIZIN Dmitry Rudolfovich, NIZINA Tatiana Anatolyevna	42
NANOMODIFICATION OF CONCRETE WITH MULTILAYER CARBON NANOTUBES SYNTHESIZED BY CATALYTIC PYROLYSIS ON FILM CATALYSTS KRYUCHKOV Viktor Alekseevich, KRYUCHKOV Maxim Viktorovich, YUSIFOV Rauf Yusifovich, CHERNYSHOV Mikhail Viktorovich, EROFEEVA Irina Vladimirovna	47
OVERALL SYSTEM STABILITY «HIGH-RISE BUILDING - NON-LINEAR FOUNDATION» MURTAZINA Gulsem Rasimovna	54
HYBRID CEMENTS BASED ON GRANULATED DOMAIN SLAGS: MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH SMIRNOVA Olga Mikhailovna, KAZANSKAYA Lilia Faatovna	59

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF AN INFINITE CYLINDRICAL SHELL MADE OF REINFORCED CONCRETE CONSIDERING THE AGGRESSIVE INFLUENCE OF CHLORIDE-CONTAINING ENVIRONMENTS PROKHOROVA Alla Valeryevna, PROKHOROV Petr Dmitrievich	66
NORMAL SEPARATION CRACK UNDER A PLANE STRESS STATE OF A THIN SEMI-INFINITE PLATE FROM COMPOSITE ISOTROPIC MATERIAL TELICHKO Victor Grigorievich	70

EXPERT EVALUATIONS

METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF GRADUATES KNOWLEDGE BY THE LEVEL OF DENSITY OF INTER-METH CORRELATION RELATIONSHIPS OF EXAMINATION ASSESSMENTS GERASIMENKO Petr Vasilyevich.....	75
IN HONOR OF THE 94 BIRTHDAY OF V.I. SOLOMIN POTAPOV Alexander Nikolaevich.....	79
<i>Conditions for Posting Materials.....</i>	83



Уважаемые коллеги!

Уважаемые работники и ветераны строительной отрасли!

Поздравляем вас с Днём строителя – с праздником одной из самых мирных, созидательных и уважаемых в обществе профессий.

Строительный комплекс по праву считается одним из ведущих секторов национальной экономики. От его устойчивого развития во многом зависит динамика экономического роста страны, благополучие смежных отраслей, создание дополнительных рабочих мест и, конечно, качество жизни миллионов людей.

Трудом и талантом многих поколений исследователей, инженеров, проектировщиков, рабочих, специалистов в нашей стране были возведены города и посёлки, создана энергетическая, социальная, транспортная инфраструктура, введены в строй крупнейшие производственные комплексы.

Желаем вам крепкого здоровья, счастья и благополучия! Пусть все пожелания, которые звучат в честь Дня строителя, настроят на продуктивную работу и успешные результаты на весь предстоящий год!

С Днём строителя!

*Редакционный совет, редакционная коллегия
научно-практического журнала
«Эксперт: теория и практика»*



Dear colleagues!

Dear workers and veterans of the construction industry!

Congratulations on Builder's Day! Congratulations on one of the most peaceful, creative and respected professions in the society.

The construction complex is considered to be one of the leading sectors of the national economy. The dynamics of the country's economic growth, the well-being of related sectors, the creation of additional jobs and, of course, the quality of life of millions of people depend on its sustainable development.

Due to the the work and talent of many generations of researchers, engineers, designers, workers, specialists in our country great number of cities and settlements were built, energy, social and transport infrastructures were created, and the largest production complexes were put into operation.

We wish you good health, happiness and prosperity! Let all wishes that sound in honor of Builder's Day set productive work and successful results for the whole coming year!

Happy Builder's Day!

*Editorial Board, Editorial Panel of the
Scientific and practical journal
"Expert: theory and practice"*



ПОЗДРАВЛЯЕМ ВЛАДИМИРА ИЛЬИЧА ТРАВУША,
АКАДЕМИКА РААСН, С ПРИСУЖДЕНИЕМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ
В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ 2021 ГОДА



Вручение Государственной премии РФ академику РААСН Владимиру Травушу
Президентом России В.В. Путиным. Москва, Кремль, 12 июня 2022 года

Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий 2021 года присуждена ТРАВУШУ Владимиру Ильичу за заслуги мирового уровня в уникальном высотном строительстве, обеспеченные системными достижениями учёного в развитии строительных наук и технологий в России.

Травуш Владимир Ильич родился 04 мая 1936 года в Днепропетровске. Доктор технических наук, профессор. Главный конструктор, заместитель генерального директора Городского проектного института жилых и общественных зданий (Москва).

Автором внесён существенный вклад в отечественную и мировую науку по ряду направлений: строительная механика, математический расчёт строительных конструкций, совершенствование всех типов железобетонных, монолитных, металлических и деревянных конструкций и создание инновационных технологий возведения высотных сооружений.

Научные результаты В. Травуша обеспечили создание прорывных технологий для уникального высотного строительства и охватывают широкий круг актуальных проблем: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и оснований зданий и сооружений; методы определения ветровых нагрузок на высотные здания и сооружения; методы расчёта деревянных, железобетонных, сталежелезобетонных и стальных конструкций, в том числе конструкций на упругом основании (метод обобщённых решений, функциональные прерыватели), конструкций из многослойного стекла; научные основы сейсмостойкости сооружений; нормы и правила проектирования высотных зданий и комплексов; развитие теории живучести кон-



структивных систем зданий и сооружений, защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения; численные исследования стыковых соединений колонн.

В.Травуш является автором более 70 реализованных проектов, среди которых уникальные объекты конца XX и XXI веков: Останкинская телевизионная башня (Москва, 1967, 2006 (восстановление и реконструкция после пожара); Дворец спорта профсоюзов (Архангельск, 1980); Олимпийский дворец спорта «Динамо» (Москва, 1980); большепролётный Дворец спорта (Тверь, 1982); Музей Хо Ши Мина (Ханой, 1990); крытый рынок (Ржев, 1990); спорткомплекс «Москворечье» (Москва, 1993); мост «Багратион» через реку Москва в комплексе Московского международного делового центра «Москва-Сити» (Москва, 1997); административное здание «Башня 2000» в комплексе «Москва-Сити» (Москва, 2001); крытый конькобежный центр в Крылатском (Москва, 2004) и многое другое¹.

*академик РААСН Петров В.В.,
академик РААСН Акимов П.А.,
академик РААСН Беккер А.Т.,
академик РААСН Белостоцкий А.М.,
академик РААСН Ерофеев В.Т.,
академик РААСН Каприелов С.С.,
академик РААСН Маилян Л.Р.,
академик РААСН Селяев В.П.,
член–корреспондент РААСН Вавренюк С.В.,
член–корреспондент РААСН Куприянов В.Н.,
член–корреспондент РААСН Потапов А.Н.,
член–корреспондент РААСН Рахимов Р.З.,
член–корреспондент РААСН Римшин В.И.,
член–корреспондент РААСН Сколубович Ю.Л.,
член–корреспондент РААСН Соколов Б.С.,
член–корреспондент РААСН Трещев А.А.,
советник РААСН Анпилов С.М.*

¹ Информация и фотография с сайтов: <http://www.kremlin.ru/supplement/5812> и <http://www.kremlin.ru/events/councils/68601>.



**CONGRATULATIONS TO VLADIMIR ILYICH TRAVUSH, RAACS ACADEMICIAN,
WITH THE 2021 STATE PRIZE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY**

The 2021 State Prize of the Russian Federation in the field of science and technology was awarded to TRAVUSH Vladimir Ilyich for world-class services in unique high-rise construction, provided by system achievements of scientist in the development of construction sciences and technologies in Russia.

The author made a significant contribution to domestic and world science in a number of areas: construction mechanics, mathematical calculation of construction structures, improvement of all types of reinforced concrete, monolithic, metal and wooden structures and creation of innovative technologies for the construction of high-rise structures.

*RAACS academician Petrov V.V.,
RAACS academician Akimov P.A.,
RAACS academician Bekker A.T.,
RAACS academician Belostotskiy A.M.,
RAACS academician Erofeev V.T.,
RAACS academician Capriellov S.S.,
RAACS academician Mailyan L.R.,
RAACS academician Selyaev V.P.,
corresponding member of RAACS Vavrenyuk S.V.,
corresponding member of RAACS Kupriyanov V.N.,
corresponding member of RAACS Potapov A.N.,
corresponding member of RAACS Rakhimov R.Z.,
corresponding member of RAACS Rimshin V.I.,
corresponding member of RAACS Skolubovich Yu.L.,
corresponding member of RAACS Sokolov B.S.,
corresponding member of RAACS Treschev A.A.,
RAACS advisor Anpilov S.M.*



ПОЗДРАВЛЯЕМ С 70-ЛЕТИЕМ АКАДЕМИКА РААСН БЕЛОСТОЦКОГО А.М.



Академик РААСН Белостоцкий А.М. (03.06.2022)

Поздравляем с 70-летием академика Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), профессора, доктора технических наук Александра Михайловича Белостоцкого.

А.М. Белостоцкий (родился 03 июня 1952 года) – ученый мирового уровня в области математического моделирования, разработки, исследований и использования численных методов и программно-алгоритмических комплексов расчета нагрузок и воздействий, состояний (напряженного-деформированного, температурного, фильтрационного и др.), динамики, прочности и устойчивости уникальных конструкций, зданий и сооружений для всех стадий их жизненного цикла. Он является соруководителем крупной Научной школы НИУ МГСУ «Численное и экспериментальное моделирование и методы прикладной математики в задачах строительства», членом Президиума и Ученого совета РААСН, членом Экспертного Совета по аттестации программных средств, используемых в атомной энергетике (при Ростехнадзоре), заместителем главного редактора международного научного журнала «International Journal for Computational Civil and Structural Engineering», членом редакционного совета научно-практического журнала «Эксперт: теория и практика».

А.М. Белостоцкий разработал, верифицировал и внедрил в практику исследований оригинальные модели, численные методы и реализующие программные комплексы температурного, статического и динамического расчета пространственных строительных, машиностроительных и др. систем большой размерности с учетом эффектов физической, геометрической, структурной и генетической нелинейности. Под его руко-



водством выполнены (в рамках научно-технического сопровождения) и прошли государственную экспертизу уточненные расчетные исследования нагрузок и воздействий, напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости ряда высотных зданий и большепролетных сооружений (дворцы спорта, театральные и музейные комплексы) Москвы, Санкт-Петербурга, Калининграда, Севастополя, Нижнего Новгорода, Самары, Краснодара, Омска и Владивостока, Центрального стадиона, Большой ледовой арены, санно-бобслейной трассы и трамплинного комплекса Зимних Олимпийских игр 2014 года в Сочи, стадионов для проведения Чемпионата мира по футболу 2018 года – «Лужники» и «Спартак» (Москва), «Зенит» (Санкт-Петербург), в Самаре, Нижнем Новгороде, Волгограде, Ростове-на-Дону и Екатеринбурге, основных сооружений ряда атомных (с реакторами РБМК, ВВЭР, нового поколения) и гидроэлектростанций (с арочными, гравитационными, грунтовыми плотинами), гидроаккумулирующих и ветряных электростанций, многих других уникальных и ответственных объектов. Среди наиболее «резонансных» исследований – анализ причин и механизмов обрушения покрытий СОК «Трансвааль-парк» (2004 год) и здания Басманного рынка (2006 год) в рамках строительно-технических экспертиз, локального разрушения оси оттяжки ККЦ «Крылатское» с привлечением не только авторского программного комплекса СТАДИО, но и альтернативных ПК (ANSYS, ABAQUS, ЛИРА, SCAD, RobotMillennium).

А.М. Белостоцкий опубликовал более 350 научных работ, включая нормативные методики расчета, 2 монографии и 6 учебных пособий. Подготовил 8 кандидатов технических наук¹.

Желаем Вам, уважаемый Александр Михайлович, крепкого здоровья, благополучия, успешной научной и педагогической деятельности, продолжения присущей Вам творческой активности на многие годы!

*Редакционный совет, редакционная коллегия
научно-практического журнала
«Эксперт: теория и практика»*

CONGRATULATIONS ON THE 70th BIRTHDAY OF RAACSACADEMICIAN BELOSTOTSKY A.M.

Congratulations on the 70th birthday to the Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), Professor, Doctor of Technical Sciences, Alexander Mikhailovich Belostotsky.

A.M. Belostotsky (born 03 June 1952) is a world-class scientist in the field of mathematical modeling, development, research and use of numerical methods and software-algorithmic complexes for calculating loads and effects, states (stress-deformed, temperature, filtration, etc.), dynamics, strength and stability of unique constructions and buildings for all stages of their life cycle.

Dear Alexander Mikhailovich, we wish you good health, successful scientific and pedagogical work, continuation of your creative activity for many years!

*Editorial Board, Editorial Panel of the
scientific and practical journal
“Expert: theory and practice”*

¹ Информация с официального сайта НИУ МГСУ. <https://mgsu.ru>.



ПОЗДРАВЛЯЕМ С 65-ЛЕТИЕМ ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТА РААСН РИМШИНА В.И.



**Член-корреспондент РААСН,
Заслуженный строитель Российской Федерации
Римшин В.И. (04.08.1957)**

Поздравляем с 65-летием члена-корреспондента Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), профессора, доктора технических наук Римшина Владимира Ивановича!

Римшин В.И. (родился 04 августа 1957 года) – Заслуженный строитель РФ, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, руководитель Института развития города НИИСФ РААСН, профессор НИУ МГСУ, член редакционного совета научно-практического журнала «Эксперт: теория и практика», автор более 500 научных трудов в области строительства и ЖКХ, в том числе 31 авторского свидетельства и патента.

Римшин В.И. является основателем научной школы по силовому сопротивлению конструкций, ослабленных силовыми и средовыми деградиационными воздействиями, расчету и конструированию энергоэффективных зданий и сооружений в строительстве и ЖКХ. Подготовил в качестве научного консультанта 1 доктора и 5 кандидатов технических наук. Организатор и участник многочисленных проектов и научно-технических конференций. Являлся заместителем научного руководителя международного проекта Организации Объединенных Наций «Возрождение Днепра» (Россия, Белоруссия, Украина, Канада, США), международного проекта «Катынь» (Россия, Польша), сохранение архитектурного наследия (Россия, Евросоюз, Италия).

В.И. Римшин ведет большую общественную деятельность в качестве члена нормативно-технического совета Минстроя РФ, председателя правления Московского инновационного производственно-строительного кластера, председателя НП «Смоленское землячество в г. Москве».



Желаем Вам, уважаемый Владимир Иванович, крепкого здоровья, благополучия, успешной научной и педагогической деятельности, продолжения присущей Вам творческой активности на многие годы!

*Редакционный совет, редакционная коллегия
научно-практического журнала
«Эксперт: теория и практика»*

CONGRATULATIONS ON THE 65th BIRTHDAY OF RAACS CORRESPONDING MEMBER RIMSHIN V.I.

Congratulations on the 65th birthday of Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), Professor, Doctor of Technical Sciences, Rimshin Vladimir Ivanovich!

Rimshin V.I. (born 04 August 1957) is an Honored Builder of the Russian Federation, Prize Winner of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Head of the Institute of Development of the RAACS city Building Physics Research Institute, Professor NRU Moscow State University of Civil Engineering.

Rimshin V.I. is the founder of the scientific school on force resistance of structures weakened by force and environmental degradation, calculation and design of energy-efficient buildings and structures in housing and communal services.

Dear Vladimir Ivanovich, we wish you good health, successful scientific and pedagogical work, continuation of your creative activity for many years!

*Editorial Board, Editorial Panel of the
scientific and practical journal
“Expert: theory and practice”*



ПОЗДРАВЛЯЕМ С 65-ЛЕТИЕМ АНПИЛОВА С.М.*



Анпилов Сергей Михайлович (12.06.1957) – эксперт, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель, советник РААСН

Дорогой Сергей Михайлович, поздравляю Вас с 65-летием!

Вы один из немногих признанных в России ученых-практиков, кто эффективно сочетает научно-исследовательскую деятельность с практическим внедрением результатов исследований в реальный сектор экономики.

Вами впервые в строительном комплексе страны была внедрена новая организационно-правовая форма предприятия по практической реализации результатов инновационных, импортозамещающих, конкурентоспособных научных исследований в практику строительства, имеющих важное народно-хозяйственное значение, внесших существенный вклад в развитие отечественной науки и экономики страны.

Вами созданное предприятие одно из первых в РФ возводила объекты с монолитным сталежелезобетонным каркасом безригельными легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК).

* **Анпилов Сергей Михайлович** (родился 12 июня 1957 года) – эксперт, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель, советник РААСН, доктор технических наук, профессор Тольяттинского государственного университета, председатель редакционного совета научного журнала «Основы экономики, управления и права», заместитель главного редактора научно-практического журнала «Эксперт: теория и практика», автор 365 научных трудов, в том числе 151 патента.



Решая поставленные задачи, Вы всегда применяете новые конструктивные решения, улучшаете, совершенствуете, изобретаете и создаете объекты, здания и сооружения, одни не имеющие аналогов.

Ваше стремление к решению задач новыми методами говорит о том, что к любой работе Вы относитесь как к творчеству, поэтому вполне закономерно ВАК РФ утвердил Вас доктором технических наук, Вам присвоено звание «Заслуженный изобретатель РФ», «Почетный строитель РФ». В результате признания Ваших научных и практических достижений Вы вошли в состав элиты строительного комплекса России.

Желаю Вам также целеустремленно двигаться вперед к новым научным и практическим достижениям.

*Академик РААСН,
Заслуженный деятель науки РФ и РМ,
доктор технических наук, профессор
В.П. Селяев*

CONGRATULATIONS ON THE 65TH BIRTHDAY OF ANPILOV S.M.*

Dear Sergey Mikhailovich, I congratulate you on your 65th birthday!

You are one of the few practitioners recognized in Russia, who effectively combines research activities with the practical implementation of research results in the real sector of the economy.

You were the first in the construction complex of the country to implement a new organizational and legal form of enterprise for the practical realization of the results of innovative, import-substituting, competitive scientific research in the practice of construction, which have anational and economic importance and which made a significant contribution to the development of the domestic science and economy of the country.

You created the enterprise that one of the first in the Russian Federation constructed objects with a monolithic steel-toothed concrete frame with light steel thin-walled structures.

You always apply new design solutions, improve, invent and create objects, buildings and structures that have no analogues.

Your desire to solve problems with new methods means that you treat any work as creativity, so it is quite natural that the Higher Attestation Commission of the Russian Federation has approved you as a doctor of technical sciences. You have been awarded the title of “Honored Inventor of the Russian Federation”, “Honorary Builder of the Russian Federation”. As a result of the recognition of your scientific and practical achievements you have become part of the elite of the Russian construction industry.

I also wish you to move with determination towards new scientific and practical achievements.

*RAACS academician,
Honored worker of science of Russian Federation and Republic of Mordovia,
Dr. of Technical, Prof.
V.P. Selyaev*

* **Anpilov Sergey Mikhailovich** (born June 12, 1957) is an expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Honorary Builder, RAACS Advisor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Togliatti State University, Chairman of the Editorial Board of the scientific journal “Economy, Governance and Law Basis”, Deputy Chief Editor of the scientific and practical journal “Expert: theory and practice”, the author of 365 scientific papers, including 151 patents.

Научная статья
УДК 347.454.31
ГРНТИ: 10: Государство и право. Юридические науки
doi:10.51608/26867818_2022_3_22

ОСОБЕННОСТИ ДОГОВОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАЖДАНСКО-ПРАВОВЫХ ОТНОШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ УЧАСТИЕ ИНЖЕНЕРА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

© Автор 2022

ЯЛИЛОВ Айнур Дамирович,
соискатель кафедры предпринимательского и энергетического права,
управляющий партнер Юридической фирмы «Ялилов и Партнеры»
Казанский (Приволжский) федеральный университет
(Россия, Казань, e-mail: a.yalilov@ypartners.ru)

Аннотация. В статье раскрываются особенности договоров, определяющих участие инженера в строительстве. Выявляется, что нормативное гражданско-правовое регулирование договорных отношений с участием инженеров и иных профессионалов, привлекаемых в строительные проекты, является недостаточным и не отражает современные тенденции строительной отрасли. Обосновывается необходимость формирования в российском праве дифференцированных договорных конструкций, регламентирующих участие независимых инженеров. Предлагаются правовые инструменты стимулирующего и ограничивающего характера применительно к закреплению гражданско-правового статуса инженера и приводятся практические рекомендации по определению содержания договорных условий.

Ключевые слова: строительство, инженер, договор, договорная конструкция, типовая договорная конструкция, правовые стимулы, правовые ограничения

Благодарности: автор статьи выражает большую благодарность кафедре предпринимательского и энергетического права Казанского (Приволжского) федерального университета за всестороннюю поддержку при проведении данного исследования и коллегам юридической фирмы «Ялилов и Партнеры» за ценные практические рекомендации.

Для цитирования: Ялилов А.Д. Особенности договорного регулирования гражданско-правовых отношений, обеспечивающих участие инженера в строительстве // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 22-27. doi:10.51608/26867818_2022_3_22.

Original article

THE FEATURES OF CONTRACTUAL REGULATION OF CIVIL LAW RELATIONS ENSURING THE PARTICIPATION OF AN ENGINEER IN BUILDING PROCESS

© The Author(s) 2022

YALILOV Aynur Damirovich,
Managing Partner of «Yalilov & Partners» Law Firm, Candidate of the Department
of Business and Energy Law
Kazan (Volga Region) Federal University
(Russia, Kazan, e-mail: a.yalilov@ypartners.ru)

Annotation. The article reveals the features of contracts determining the participation of an engineer in the building sphere. The author proved, that the civil law regulation of contractual relations with the participation of engineers and other professionals in construction projects is insufficient and does not reflect current trends in the construction industry. The necessity of the formation of differentiated contractual instruments in Russian civil law (standard contractual structures) regulating the participation of independent engineers is substantiated. Legal incentives and legal restrictions in the structure of the engineer's status are proposed. Practical recommendations for determining the content of contractual terms related to the participation of the engineer are given.

Keywords: building, engineer, contract, contractual construction, standard contractual construction, legal incentives, legal restrictions



Acknowledgements: the author of the article expresses great gratitude to the Department of Business and Energy Law of Kazan (Volga Region) Federal University for the comprehensive support during this research and colleagues of the law firm "Yalilov and Partners" for valuable practical recommendations.

For citation: Yalilov A.D. The features of contractual regulation of civil law relations ensuring the participation of an engineer in building process // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 22-27. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_22.

Введение

Политический и экономический кризис, настигнувший Россию и другие страны мира, существенно отразится на всех сферах общественной жизни. Не станет исключением и строительная отрасль, в которой сейчас особенно остро наблюдается небывалый рост цен, дефицит рабочей силы, прекращение поставок импортного оборудования и строительных материалов, приостановление крупных строительных проектов, разрыв партнерских связей с зарубежными поставщиками, отток инвестиций, сопровождаемый обвалом рынка финансовых инструментов [1]. Всё это скоро потребует концептуального изменения организационных и правовых механизмов управления строительной деятельностью. Для возрождения отрасли строительства потребуется новая правовая система регулирования отношений, основанная на отраслевой и профессиональной дифференциации. Одним из проявлений данной дифференциации является передача части полномочий по управлению строительными проектами профессиональным независимым инженерам.

Трансформация функций инженера (от лат.: «*ingenium*» – «врожденная способность, дарование, ум, изобретательность» [2]) следует в сторону расширения его свободы усмотрения определять методы строительства, регулировать вопросы взаимодействия сторон строительного контракта, осуществлять независимый контроль, содействовать разрешению споров и т.п. Эта тенденция подтвердила свою эффективность на практике [3, с. 10].

Российское гражданское законодательство, посвященное договору строительного подряда, весьма лаконично определяет правовой статус инженера в статье 749 Гражданского кодекса РФ (далее – ГК РФ) [4]. Назначение инженера выступает в качестве дополнительного права заказчика в целях осуществления контроля и надзора за строительством и принятия от имени заказчика решений в отношениях с подрядчиком.

Специалисты предпринимательского права в области строительного подряда и связанных с ним договоров, в частности, М.В. Виноградов [5], М.А. Еременко [6], О.Г. Ершов [7], Ю.А. Романов [8] и другие авторы, более десяти лет назад стали говорить о том, что гражданско-правовое регулирование отношений с участием инженеров явно недостаточно. Сегодня особенно актуализировалась необходимость

пересмотра гражданско-правовых договорных форм.

Методы

При проведении исследования использовалась комбинация методов научного познания. На основе диалектического метода в единстве и дифференциации были отмечены договорные формы, применяемые для регуляции отношений с участием инженеров, раскрыты стимулирующие и ограничивающие правовые средства, влияющие на гражданско-правовой статус инженера. Сравнительно-правовой метод применялся при обращении к международному опыту договорно-правового регулирования отношений в области инженерной деятельности. Функциональный метод позволил обосновать инструментальное значение специализированных договорных конструкций, определяющих участие инженера.

Результаты

Гражданско-правовой статус инженера можно охарактеризовать как специальное правовое положение лица, участвующего в гражданско-правовом отношении, связанном со строительством, и обеспечивающего координацию, управление строительным процессом на всех его стадиях, а также взаимодействующего с различными участниками строительного проекта с целью решения общих и текущих задач.

Особенностью правового закрепления статуса инженера выступает его многоярусное строение, располагаемое на нескольких уровнях: нормативном (законодательном), уровне актов саморегулируемых организаций и иных профессиональных объединений, уровне индивидуально-правового регулирования.

В разрезе частноправовых аспектов деятельности с участием инженеров необходимо обратиться к гражданско-правовым средствам регуляции отношений – договорам. В гражданском законодательстве РФ не содержится специальных договорных конструкций, обеспечивающих участие инженеров и иных ведущих специалистов в строительстве. Структура договорных связей выстраивается путем включения в договор строительного (генерального) подряда условий об участии инженера, либо заключением специальных соглашений между заказчиком и



инженерной организацией. В качестве модели регламентации правоотношения с инженером на практике также используется договор об оказании услуг. Применяются и смешанные (комплексные) договоры, сочетающие элементы договоров поставки, подряда, оказания услуг и др. [9, с. 223-252]

Инженер по смыслу российского права выступает как лицо, уполномоченное застройщиком и выполняющего посреднические, информационные функции и общее сопровождение организационно-технологических отношений. Иногда инженера отождествляют с техническим заказчиком, права и обязанности которого более подробно по сравнению с ГК РФ урегулированы в Градостроительном кодексе РФ (далее – ГрК РФ) [10] и специальных подзаконных актах [11].

В.Е. Варавенко отмечает, что ограниченные полномочия технического заказчика в строительном процессе не позволяют независимо влиять на строительный процесс [12, с. 6-7].

Невозможность принятия юридически значимых решений техническим заказчиком (об увеличении цены договора подряда или согласования дополнительных работ и т.п.) при отсутствии определенных в договоре полномочий подтверждается судебной практикой [13-15].

В правоприменительной деятельности в целом не уделяется должного внимания юридической квалификации полномочий инженера и договоров с его участием [16]. Очевидно, что сегодня требуются специальные гражданско-правовые инструменты, направленные на реализацию и расширение возможностей инженеров по профессиональному управлению строительным процессом.

Одним из способов формирования соответствующих правовых средств выступает механизм саморегулирования, основанный на частной инициативе и профессиональной интеграции [17, с. 46], [18, с. 2217].

Выдающийся социолог XX века Т. Парсонс обосновал, что на уровне профессиональных объединений складываются собственные стандарты, правила поведения, позитивные, негативные санкции за ненадлежащее выполнение обязанностей членами ассоциаций, и данные регуляторы оказываются более эффективными инструментами воздействия на соответствующую сферу деятельности [19, с. 37].

В мировой практике строительства примером внедрения профессиональных стандартов и основанных на них правовых формах взаимодействия субъектов выступает систематизация условий договоров на проектирование и строительство, проведенная в рамках Международной федерации инженеров-консультантов – FIDIC (Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils) [20]. Типовые договорные конструкции FIDIC детализируют комплекс усло-

вий договоров строительного подряда, субподряда, содержат дифференцированные договорные комбинации правовых связей с участием инженеров [21].

По смыслу FIDIC, дуализм правового статуса инженера сопряжен с выполнением им, с одной стороны, функций независимого посредника, с другой стороны, представителя заказчика. Имеются терминологические различия. В «Красной книге» FIDIC, например, приводится определение «инженер» [22], «Серебряная книга» FIDIC использует формулировку «представитель заказчика» [23]. «Белая книга» говорит об участии инженера-консультанта [21].

Во второе издание «Белой книги», «Желтой Книги», «Красной книги» FIDIC в 2017 году внесены изменения, расширившие содержание статуса инженера и обозначившие тенденцию отделения его представительских и посреднических, контрольно-надзорных, удостоверительных функций.

Так, контрольно-надзорная и удостоверительная функции инженера подразумевают реализацию прав и обязанностей по текущей и итоговой проверке работ, по обеспечению безопасности на строительной площадке и по общему интегрированному управлению процессом строительства от начала до завершения. Инженер обладает правом осуществлять контроль над расходованием денежных средств, оплатой этапов работ; проведением испытаний материалов, оборудования. Инженер – ключевой субъект процедуры приемки (материалов, результатов работ, этапов), выдающий промежуточные и итоговые платежные сертификаты, подтверждающий факт завершения работ («практического», «окончательного»).

Правовой статус инженера определяет его значительное влияние на механизм реализации гражданско-правовой ответственности заказчика и подрядчика. Инженер наделен правом на подтверждение имущественного ущерба; взыскания заранее оцененных убытков, удержания в случаях, если подрядчик не устраняет недостатки и т.д.

Одним из главных факторов обособления правового статуса инженера является необходимость создания специализированного внесудебного механизма по урегулированию претензий. Инженер выступает первой инстанцией по рассмотрению споров между заказчиком и подрядчиком, и его инструментальная роль в данной связи позволяет снизить финансовые, организационные и иные процессуальные издержки, возникающие при судебном разрешении споров в строительстве.

Проформы FIDIC детализируют процедуры и сроки рассмотрения и удовлетворения претензий; расширяют консультативную роль инженера в достижении соглашения; определяют легитимность решений инженера [24]. Принцип беспристрастного подхода к вынесению решения дополняется требова-



нием о принятии справедливого решения, если результат не может быть согласован сторонами (п. 3.5 проформ FIDIC).

В основе правового статуса инженера по праву FIDIC лежат общеправовые принципы разумности, обоснованности, добросовестности при принятии решений, требование следования профессиональной этике. «Белая книга» FIDIC указывает на «достаточный уровень навыков, аккуратность, которые ожидаются от инженера-консультанта, имеющего опыт в оказании услуг в проектах аналогичного масштаба и сложности». Определяется, если консультант действовал добросовестно, но по причинам, не зависящим от него, результаты исполнения не соответствуют требованиям заказчика, он не признается нарушителем договора [21].

В нормах российского права нет четких критериев определения добросовестности инженера и оценки степени «полезности» его услуг, что, представляется, должно восполняться договорной и судебной практикой, а также закрепляться в стандартах саморегулируемых организаций.

Одной из проблем гражданско-правового регулирования отношений с участием инженера выступают пределы осуществления его прав в строительном процессе, распределение рисков и меры гражданско-правовой ответственности.

Имущественные последствия ущерба, который может быть причинен в результате недобросовестной деятельности инженера или ввиду необоснованного выхода за пределы полномочий, необходимо детально прописывать. В договорах с участием инженеров стоит четко очертить права и обязанности инженера, перечень оказываемых им услуг, цели участия в строительном проекте и ожидаемые результаты. Разработчики FIDIC скрупулёзно подошли к идентификации услуг инженера, условий и процедур их исполнения. Так, новая редакция «Белой книги» FIDIC содержит правила заполнения приложения 1 к типовой форме договора о спецификации услуг. Приложение должно содержать подробное описание услуг и все факторы, не влияющие на качество услуг [21].

Вопрос эффективности участия инженера кроется в закреплении, с одной стороны, сдерживающих, с другой стороны, стимулирующих правовых инструментов. Способы внедрения стимулов и ограничений применительно к статусу инженера выступают договорные конструкции.

Ограничения могут относиться к установлению обязанностей, пределов реализации прав инженера, запретов, мер гражданско-правовой ответственности. Так, пределы усмотрения инженеров могут быть лимитированы путем установления требований о получении предварительных одобрений заказчика и (или) подрядчика (в части увеличения,

уменьшения цены, сроков и т.п.). В качестве средств пресечения злоупотребления правом инженера в положениях FIDIC, к примеру, закреплены процедуры его взаимодействия с участниками строительства (в частности, особый механизм, форма, сроки выставления требований, урегулирования разногласий). Ограничительный эффект приобретает персональная ответственность инженера за выдачу указаний (инструкций), в результате которых был нанесен ущерб.

В качестве правовых стимулов могут выступать права инженера на получение дополнительного вознаграждения, обусловленные степенью достижения им определенных показателей, система различных поощрений, предусмотренных как в договорах, так и в локальных актах саморегулируемых организаций, за успешную реализацию проектов (или, например, за внедрение специальных методов управления, снижающих издержки и обеспечивающих инвестиционный прирост).

Качество договорного регулирования деятельности инженеров в сфере строительного контроля во многом определяется установлением конкретных качественных и количественных эффективности управления и системы правовых сдержек и противовесов для обеспечения баланса интересов сторон строительного проекта.

С.М. Анпилов, А.В. Михайлов, А.Н. Сорочайкин выявляют ряд практических проблем, связанных с отсутствием межотраслевого согласования правовых регуляторов в области строительного контроля, и предлагают комплекс норм для внедрения в законодательство, отмечая важность правовой дифференциации на уровне саморегулируемых организаций требований к строительному контролю и др. [25, с. 90].

С.М. Анпилов обосновывает необходимость концептуального пересмотра института строительного контроля [26, с. 58-59]. Представляется, что важнейшей составляющей механизма усовершенствования правового регулирования отношений в данном сегменте строительной отрасли выступает эффективное договорное регулирование и внедрение специальных договорных конструкций.

Обсуждение

На национальном уровне правового регулирования строительного сектора необходимо создать систему договорных регуляторов [27, с. 113-114], с учетом особенностей внутреннего права, обычаев, стандартов и наиболее востребованных строительных практик.

Закрепление специальных договорных моделей, определяющих комплекс организационно-правовых связей участников строительного процесса, позволит обеспечить, в частности:



1) профессиональное управление инвестиционно-строительными проектами;

2) более справедливое распределение рисков на различных стадиях строительства;

3) персонификацию ответственности и придание большей гарантированности правам и законным интересам пользователей объектов строительства;

4) изменение качественных характеристик строительства и его результатов;

5) усовершенствование частноправовых основ процедуры приемки;

6) переход на внесудебные формы разрешения конфликтов в строительстве;

7) снижение коррупционных рисков в наиболее «уязвимых» секторах строительного процесса (приемка, строительный контроль и т.д.).

Содержание условий договорных конструкций, определяющих услуги инженеров и иных специалистов, привлекаемых в строительство, должно выстраиваться с учетом направленности на: 1) на передачу части полномочий по управлению строительством третьим (независимым) субъектам; 2) установление критериев эффективности услуг инженеров; 3) усиление персональной гражданско-правовой ответственности соответствующих субъектов профессиональной деятельности.

С целью стимулирующего и сдерживающего воздействия правовых средств на участников отношений в договорных конструкциях рекомендуется устанавливать процедуры назначения инженера сторонами контракта (на паритетных началах), основания, условия и пределы реализации прав и обязанностей инженеров; процедуры получения одобрения заказчиком и подрядчиком юридически значимых действий инженера; порядок обжалования действий инженеров.

Заключение

Конкуренция профессионалов в сфере строительства, достигаемая, в том числе, за счет внедрения высоких стандартов деятельности в систематизированных условиях типовых договорных конструкций, постепенно выведет на новый уровень развитие различных институтов в сфере строительства. Усовершенствование правовых механизмов профессиональной деятельности инженеров в свою очередь повлияет на социальную среду, опирающуюся на потребности общества (в качественном и безопасном жилье, объектах социального, культурного, промышленного назначения, инфраструктуре и т.д.).

При всем вышесказанном, необходимо понимать, что развитие договорных форм регуляции строительных отношений не способно обеспечить их эффективное функционирование, пока не будут созданы экономические, финансовые и организационные предпосылки. В России пока не сложился инсти-

тут квалифицированных инженеров, обладающих компетенцией в области применения новых стандартов проектирования и строительства, в частности, связанных с цифровыми, энергосберегающими, природоохранными технологиями; не в достаточной мере сформированы механизмы саморегулирования, а сами участники строительных отношений еще не готовы передавать часть функций по управлению. И в данной связи, конечно, предстоит масштабная перестройка организационно-правовых механизмов в строительстве, расширение функций саморегулируемых организаций, создание системы стимулов для развития институтов независимых инженеров и качественное выведение отечественной отрасли строительства на новый уровень.

Библиографический список

1. На твердую недостройку. Застройщики начали замораживать проекты // Газета «Коммерсантъ» [Электронный ресурс] URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5272146>, свободный (дата обращения: 07.04.2022).

2. Этимологический онлайн-словарь русского языка Крылова Г. А. [Электронный ресурс] URL: <https://lexicography.online/etymology/krylov/и/инженер>, свободный (дата обращения: 02.03.2022).

3. The professional status of the engineer in Europe / F Edman, L Funk, T. Kiefer, V. Krstelj, JB. Lino, D. Owens. – FE-ANI Task Force, 2016 - 47 p.

4. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26 января 1996 года № 14-ФЗ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022) // Собрание законодательства. – 1996. - № 5. - ст. 410.

5. Виноградов М.В. Гражданско-правовая ответственность при осуществлении строительной деятельности: дис. ... канд. юрид. наук. – М., 2006. – 249 с.

6. Еременко М.А. Правовое положение субъектов предпринимательской деятельности в строительной отрасли: дис. ... канд. юрид. наук. – М., 2013. – 202 с.

7. Ершов О.Г. Юридическая природа договора участия инженера в строительстве на стороне заказчика // Право и экономика. 2009. № 8. С. 37-42.

8. Романов Ю.А. Правовое положение саморегулируемых организаций в строительной сфере по законодательству Российской Федерации: дис. ... канд. юрид. наук. – М., 2012. – 197 с.

9. Ершов О. Г. Конструкции гражданско-правовых договоров в сфере возведения объектов капитального строительства / О. Г. Ершов. – М.: Изд-во «Юрлитинформ», 2016. – 416 с.

10. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2005. - № 1 (часть 1). - Ст. 16.

11. Письмо Минстроя России от 17.12.2018 № 50234-ТБ/02 «О функциях технического заказчика» // Ценообразование и сметное нормирование в строительстве. 2020. № 1.

12. Варавенко В.Е. Сравнительный анализ правового положения технического заказчика по российскому законодательству и инженера по условиям договоров между-



народной федерации инженеров-консультантов (FIDIC) // Правовые вопросы строительства. 2015. №1. С.4-8.

13. Постановление девятого арбитражного апелляционного суда от 27.06.2017 г. по делу № А40-140164/16 [Электронный ресурс] URL: https://kad.arbitr.ru/Document/Pdf/f5b9abcc-f535-46e1-8a07-c9179c2f7628/fc340b61-b1ef-436c-af86-aaab5e5d4c07/A40-140164-2016_20170627_Pos_tanovlenie_apelljacionnoj_instancii.pdf?isAddStamp=True, свободный (дата обращения: 02.03.2022).

14. Постановление Арбитражного суда Уральского округа от 2 марта 2015 г. № Ф09-643/15 по делу А60-12212/2014 // Справочно-правовая система «Консультант-Плюс».

15. Постановление Девятого арбитражного апелляционного суда от 12 декабря 2018 г. № 09АП-63646/2018 по делу А40103718/18-126-607 // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

16. Постановление Арбитражного суда Московского округа от 26 октября 2015 г. № Ф05-13947/15 по делу № А41-1097/2015 [Электронный ресурс] URL: https://kad.arbitr.ru/Document/Pdf/ad175b02-0802-46d7-b9b0-b64ddc022e89/41bb6a6d-3159-40c1-a004-a1ed3e210/A41-1097-2015_20151026_Reshenija_i_postanovlenija.pdf?isAddStamp=True, свободный (дата обращения: 02.03.2022).

17. Сунгатуллина Л.А. Функции участников саморегулируемых организаций // Бизнес в законе. 2015. № 1. С. 45-50.

18. Sungatullina Lilia A., Mikhaylov Andrey V., Valeeva Aygul V., Self-Regulatory Organizations in Russia and European Countries: Current State and Prospects of Development//HELIX. - 2018. - Vol.8, Is.1. - P. 2214-2217.

19. Parsons T. Essays in Sociological Theory (Revised Edition). New-York. - The Free Press, 1966. - P. 34-46.

20. International Federation of Consulting Engineers. URL: <https://fidic.org/history>

21. Client/Consultant Model Services Agreement 5th Ed (2017 White Book). URL: <https://fidic.org/books/clientconsultant-model-services-agreement-5th-ed-2017-white-book>

22. Construction Contract 2nd Ed (2017 Red Book). URL: <https://fidic.org/books/construction-contract-2nd-ed-2017-red-book>

23. EPC/Turnkey Contract 2nd Ed (2017 Silver Book). URL: <https://fidic.org/books/epcturnkey-contract-2nd-ed-2017-silver-book>.

24. Barakat M., Abdul-Malak M., Khoury H. Pivotal New Roles and Changes Introduced by the 2017 FIDIC's Claim and Dispute Resolution Mechanism // Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction. – 2020. - Volume 12. - Issue 1.

25. Анпилов, С. М. Строительный контроль, как правовое средство, обеспечивающее надлежащее исполнение подрядных работ / С. М. Анпилов, А. В. Михайлов, А. Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 2(11). – С. 77-91. – DOI 10.51608/26867818_2021_2_77. – EDN LGSMQH.

26. Анпилов, С. М. О проблемах правового регулирования в строительной отрасли и пути их решения / С. М. Анпилов // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 55-61. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_55. – EDN EQUQHQ.

27. Ялилов, А. Д. Гражданско-правовые договоры как регуляторы отношений в области строительства / А. Д. Ялилов // Вестник экономики, права и социологии. – 2022. – № 1. – С. 112-117. – EDN FFNRKC.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.04.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 22.04.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.

Научная статья

УДК 69.059

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_3_28

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ В РАМКАХ ЕГО ПЕРЕУСТРОЙСТВА

© Авторы 2022

SPIN: 3971-7691

AuthorID: 260821

ORCID: 0000-0002-6512-5803

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

эксперт, Заслуженный изобретатель РФ, Почётный строитель советник РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры *Тольяттинский государственный университет* (Россия, Тольятти, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

SPIN: 9629-5322

AuthorID: 420903

ORCID 0000-0003-0209-7726

РИМШИН Владимир Иванович

член-корреспондент РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)* (Россия, Москва, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SPIN: 2765-5492

AuthorID: 704357

КУРБАТОВ Владимир Леонидович

доктор экономических, кандидат технических наук, профессор *Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова* (Россия, Минеральные воды, e-mail: kurbatov_bgtu@list.ru)

SPIN: 9575-7605

AuthorID: 877782

ORCID: 0000-0001-6162-8561

ScopusID: 57466580000

ResearcherID: AAF-9205-2019

КЕЦКО Екатерина Сергеевна

аспирант *Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)* (Россия, Москва, e-mail: kkuzzina@mail.ru)

SPIN: 7986-6750

AuthorID: 1060251

КУЗИНА Ирина Сергеевна

студентка *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)* (Россия, Москва, e-mail: ms.kuzina01@mail.ru)

Аннотация. Статья посвящена изучению результатов технической экспертизы и выполнения расчета несущей способности перекрытия бизнес-центра в осях «А/3-Б/3» и «13/3-12/3» и разработка рекомендаций по результатам расчета. Объект экспертизы – плита перекрытия здания. Конструктивная схема здания каркасная с несущими железобетонными колоннами. Конструкции плиты перекрытия в осях «А/3-Б/3-12/3-13/3» представляет собой монолитную железобетонную плиту толщиной 250 мм, опирающуюся на внутренний железобетонный каркас. Железобетонные колонны сечением 500x500 мм, 500x800 мм и 600x2000 мм. Плита монолитная железобетонная толщиной 250 мм, армирование: верхняя и нижняя арматура d16 с шагом 200 мм, дополнительно армирована в районе капителей толщиной 500 мм: нижняя арматура d25 и верхняя арматура d16-25 с шагом 200 мм, толщина защитного слоя 30 мм. По результатам выполненных расчетов с учетом дополнительных нагрузок необходимое армирование плиты перекрытия и балки достаточно и соответственно плита перекрытия и балка выдержат предполагаемую дополнительную нагрузку. По результатам выполненных расчетов с учетом дополнительной сосредоточенной нагрузки от установки стойки гантелей, фактическое армирование балки достаточно, соответственно, балка выдержит предполагаемую дополнительную нагрузку.

Ключевые слова: техническая экспертиза, расчёты строительных конструкций, поверочные расчёты несущих конструкций, строительные конструкции, строительство



Для цитирования: Техническая экспертиза несущих строительных конструкций административного здания в рамках его переустройства / С.М. Анпилов, В.И. Римшин, В.Л. Курбатов, Е.С. Кецко, И.С. Кузина // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 28-33. doi:10.51608/26867818_2022_3_28.

Original article

TECHNICAL EXPERTISE OF LOAD-BEARING CONSTRUCTIONS OF AN ADMINISTRATIVE BUILDING AS PART OF ITS RECONSTRUCTION

© The Author(s) 2022

ANPILOV Sergey Mikhailovich

Expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Honorary Builder,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
Togliatti State University
(Russia, Togliatti, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

Honored Builder of the Russian Federation, Corresponding Member of RAACS,
Dr. of Technical, Prof.
Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
(Russia, Moscow, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

KURBATOV Vladimir Leonidovich

Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Professor
*Federal State Budgetary Institution of Higher Education North Caucasus Branch
of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*
(Russia, MineralnyeVody, e-mail: kurbatov_bgtu@list.ru)

KETSKO Ekaterina Sergeevna

Postgraduate
*Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture
and Building Sciences*
(Russia, Moscow, e-mail: kkuzzina@mail.ru)

KUZINA Irina Sergeevna

Student
Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
(Russia, Moscow, e-mail: ms.kuzina01@mail.ru)

Annotation. The work studies a technical verification of the constructions bearing capacity in the axes "A/3-B/3" and "13/3-12/3" and development the recommendations according to the calculation results. The object of expertise is the floor slab panel. The structural scheme of the building is framed with load-bearing reinforced concrete columns. Floor slab structures in the axes "A/3-B/3-12/3-13/3" are a monolithic reinforced concrete slab, the thick of them is 250 mm, resting on an internal reinforced concrete frame. Reinforced concrete columns sections are 500x500 mm, 500x800 mm and 600x2000 mm. Monolithic reinforced concrete slab with 250 mm thick, reinforcement: top and bottom reinforcement is d16 with a pitch of 200 mm, additionally reinforced in the area of capitals with a thickness of 500 mm: bottom reinforcement is d25 and top reinforcement is d16-25 with a pitch of 200 mm, protective layer thickness is 30 mm. According to the results of the calculations and the additional concentrated load from the installation of the dumbbell rack, the actual beam reinforcement is sufficient, the beam will withstand the expected additional load.

Keywords: technical expertise, calculations of building structures, verification calculations of load-bearing structures

For citation: Technical expertise of load-bearing constructions of an administrative building as part of its reconstruction / S.M. Anpilov, V.I. Rimshin, V.L. Kurbatov, E.S. Ketsko, I.S. Kuzina // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 28-33. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_28.

Введение



Целью настоящей работы является поверочный расчет ответственных строительных конструкций, а именно плиты перекрытия помещения 20-го этажа в осях в осях «А/3-Б/3» и «13/3-12/3». В помещении спортивного зала планируется размещение дополнительного оборудования фитнес-тренажеров, которое дает дополнительную нагрузку на существующую плиту. Схема размещения дополнительного фитнес-оборудования представлена на рисунке 1.

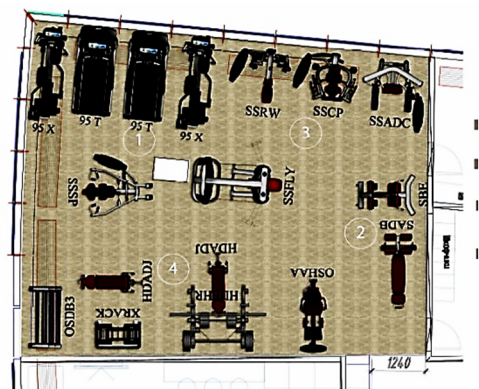


Рисунок 1. Схема размещения дополнительного фитнес-оборудования

Назначение - административное нежилое здание. Здание состоит из четырёх подземных этажей с тремя 21-этажными башнями. По конструктивной схеме здание каркасное с несущими железобетонными стенами и колоннами. Имеется четыре подземных этажа для парковки. Стены подземной части железобетонные. Ограждающие конструкции надземной части – стеклопакеты. Внутренние перегородки выполнены из керамического полнотелого кирпича на цементно-песчаном растворе, толщиной 120 мм, а также гипсокартонные, толщиной 125 мм. Колонны железобетонные переменного сечения 500х500 мм, 500х800 мм и 600х2000 мм. Выполнены из бетона марки В40. Перекрытия – монолитные железобетонные плиты толщиной 250 мм, опирающиеся на капители колонн внутреннего железобетонного каркаса. Выполнены из бетона марки В35. Плита монолитная железобетонная, толщиной 250 мм, армирование согласно исходной документации: верхняя и нижняя арматура d16 с шагом 200 мм, дополнительно армирована в районе капителей толщиной 500 мм: нижняя арматура d25 и верхняя арматура d16-25 с шагом 200 мм, толщина защитного слоя составляет 30 мм.

Экспертиза и поверочные расчеты. Расчет конструкций плиты перекрытия

Поверочный расчет выполнялся на нагрузки на основании исходных данных, а также были приложены нагрузки на существующую плиту, которые возникают в результате размещения дополнитель-

ного оборудования фитнес-тренажеров. Поверочный расчет выполнялся с использованием программного комплекса SCAD Office 11.3 [1-7]. Сбор нагрузок на междуэтажное перекрытие 20-го этажа выполнен в таблице 1. Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1$. Толщина плиты – 250 мм. Длина пролета $L_x = 8.5$ м. Длина пролета $L_y = 7$ м. Коэффициент условий работы арматуры – 1. Защитный слой: верхний – 30 мм, нижний – 30 мм. Характеристики применяемой арматуры представлены в таблице 2.

Таблица 1. Сбор нагрузок на междуэтажное перекрытие 20-го этажа

	Наименование	Норм., МПа	γ_f	Расч., МПа
1	Конструкция плиты покрытия 2500кг/м³х0.25	0.00625	1.1	0.006875
2	Конструкция пола 2000кг/м³х 0.1 м	0.002	1.1	0.0022
3	Общий вес дополнительного оборудования = (201 + 181 + 328 + 299 + 297 + 322 + 311 + 193 + 244 + 480) = 2856 кг; $S_{пом.}=67.67$ м²	0.00042	1.1	0.000465
	Итого:	0.00867		0.00954
4	Полезная временная нагрузка 200 кг/м²	0.002	1.2	0.0024
	Итого $q_{пок}$	0.01067		0.01194

Таблица 2. Характеристики арматуры

Арматура	Класс	Диаметр, мм	Шаг, мм
Fx	A500C	16	200
Fy	A500C	16	200
Fa	A400	20	1000
Fb	A400	20	200
Fd	A240	6	1000

Вид бетона тяжелый. Класс бетона – В35. Плотность бетона – 2500кг/м³. Условия твердения естественные. Коэффициент условий твердения – 1. Учет нагрузок длительного действия $\gamma_{b2} = 0.9$. Категория трещиностойкости – 3. Режим влажности бетона – естественная влажность. Влажность воздуха окружающей среды – 40-75%. Допустимая ширина раскрытия трещин – продолжительное раскрытие – 0.3 мм. Суммарная расчетная нагрузка – 0.01194 МПа. Максимально допустимый прогиб – 100 мм. Результаты расчёта представлены в таблице 3.

Коэффициент использования – 0.952. Максимальная ширина раскрытия трещин в пролете плиты. По результатам выполненных расчетов с учетом дополнительных нагрузок фактическое армирование плиты перекрытия достаточное, соответственно плита перекрытия выдержит предполагаемую дополнительную нагрузку [7-15].

Таблица 3. Результаты расчета



Проверка	Коэффициент использования
Изгибающий момент от суммарной распределенной нагрузки	0.624
Поперечная сила от суммарной распределенной нагрузки	0.122
Максимальная ширина раскрытия трещин в пролете плиты	0.952
Максимальный прогиб в середине свободной стороны плиты	0.362

Экспертиза и расчет конструкций балки

Поверочный расчет выполнялся на нагрузки на основании исходных данных, а также была приложена нагрузка, возникающая в результате установки стойки гантелей. Поверочный расчет выполнялся с использованием программного комплекса SCAD Office 11.3. Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1$. $b = 500$ мм. $h = 500$ мм. $a_1 = 30$ мм. $a_2 = 30$ мм. Вид бетона тяжелый. Класс бетона – В35. Плотность бетона – 2500 кг/м^3 . Условия твердения естественные. Коэффициент условий твердения – 1. Коэффициенты условий работы бетона. Учет нагрузок длительного действия $\gamma_{b2} = 0.9$. Результирующий коэффициент без $\gamma_{b2} = 1$. Категория трещиностойкости – 3. Режим влажности бетона – естественная влажность. Влажность воздуха окружающей среды –

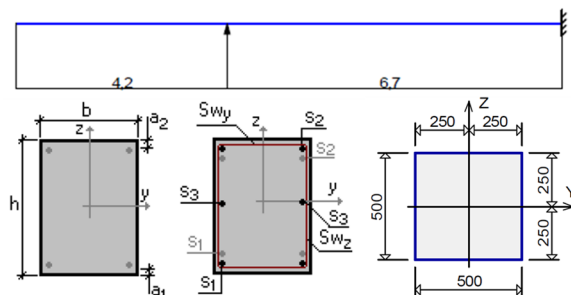


Рисунок 2. Конструктивное решение

Таблица 4. Заданное армирование

Пролет	Участок	Длина, м	Арматура	Класс	Сечение
левая консоль	1	4.2	$S_1 - 4d16$; $S_2 - 4d16$	A500C	
пролет 1	1	6.7	$S_1 - 4d16$; $S_2 - 4d16$ Поперечная арматура вдоль оси Z – $4d16$, шаг поперечной арматуры – 200 мм	A500C	

40-75%. Допустимая ширина раскрытия трещин – не продолжительное раскрытие – 0.4 мм. Продолжительное раскрытие – 0.3 мм [15-20]. Конструктивное решение и схемы сечения балки представлены на рисунке 2. Характеристики армирования балки представлены в таблице 4.

Характеристики постоянного нагружения 1 представлены в таблице 5. Характеристики временного длительно действующего нагружения 2 представлены в таблице 6. Характеристики постоянного нагружения 3 представлены в таблице 7. Характеристики временное длительно действующего нагружения 4 представлены в таблице 8. Характеристики временного кратковременного нагружения 5 представлены в таблице 9. Опорные реакции приведены в таблице 10. Результаты расчёта приведены в таблице 11.

Таблица 5. Загружение 1 – постоянное

Тип нагрузки	Величина
левая консоль, длина = 4.2 м	6.25 кН/м
пролет 1, длина = 6.7 м	6.25 кН/м

Таблица 6. Загружение 2 – временное длительно действующее

Тип нагрузки	Величина	Позиция x
левая консоль, длина = 4.2 м	7.62 кН	2 м

Таблица 7. Загружение 3 – постоянное

Тип нагрузки	Величина
левая консоль, длина = 4,2 м	2 кН/м
пролет 1, длина = 6.7 м	2 кН/м

Таблица 8. Загружение 4 – временное длительно действующее

Тип нагрузки	Величина
левая консоль, длина = 4.2 м	0.42 кН/м
пролет 1, длина = 6.7 м	0.42 кН/м

Таблица 9. Загружение 5 – временное кратковременное

Тип нагрузки	Величина
левая консоль, длина = 4.2 м	2 кН/м
пролет 1, длина = 6.7 м	2 кН/м

Таблица 10. Опорные реакции

Критерий	Сила в опоре 1, кН	Сила в опоре 2, кН	Момент в опоре 2, кН·м
по критерию M_{max}	71.67	-14.5	-1.53
по критерию M_{min}	101.58	-23.12	-12.55
по критерию Q_{max}	85.1	-14.5	-1.53
по критерию Q_{min}	88.14	-23.12	-12.55

Коэффициент использования – 0.799. Максимальная ширина раскрытия трещин в пролете балки.



Таблица 11. Результаты расчета

Пролет	Коэффициент использования	Проверка
левая консоль	0.663	Прочность по предельному моменту сечения
	0.599	Ширина раскрытия трещин (кратковременная)
	0.799	Ширина раскрытия трещин (длительная)
	0.05	Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами
	0.308	Прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры
пролет 1	0.663	Прочность по предельному моменту сечения
	0.599	Ширина раскрытия трещин (кратковременная)
	0.799	Ширина раскрытия трещин (длительная)
	0.04	Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами
	0.07	Прочность по наклонной трещине

Общие выводы и рекомендации

По результатам выполненных расчетов с учетом дополнительной сосредоточенной нагрузки от установки стойки гантелей, фактическое армирование балки достаточное, соответственно, балка выдержит предполагаемую дополнительную нагрузку. По результатам выполненных расчетов с учетом дополнительных нагрузок необходимое армирование плиты перекрытия и балки достаточно и соответственно плита перекрытия и балка выдержат предполагаемую дополнительную нагрузку. Рекомендуется установить оборудование спортивного зала в соответствии с разработанной схемой размещения.

Библиографический список

1. Патент № 2563858 С1 Российская Федерация, МПК E04B 2/84. Способ возведения монолитных стен в несъемной опалубке : № 2014121030/03 : заявл. 23.05.2014 : опубл. 20.09.2015 / С. М. Анпилов, М. С. Анпилов, Н. Г. Барцева [и др.]. – EDN ZFKOUX.
2. Патент на полезную модель № 147740 U1 Российская Федерация, МПК E04G 9/00. Несъемная стеновая опалубка : № 2014128124/03 : заявл. 08.07.2014 : опубл. 20.11.2014 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN VHRRBD.
3. Патент на полезную модель № 147452 U1 Российская Федерация, МПК E04C 1/00. Сборный строительный элемент : № 2014127996/03 : заявл. 08.07.2014 : опубл. 10.11.2014 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN FVXNNX.
4. Патент на полезную модель № 156248 U1 Российская Федерация, МПК B21D 5/08. Многоклетевой профилированный стан : № 2015107766/02 : заявл. 05.03.2015

: опубл. 10.11.2015 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN WEXUNG.

5. Патент на полезную модель № 158890 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/74. Сендвич-панель : № 2015139766/03 : заявл. 18.09.2015 : опубл. 20.01.2016 / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, М. М. Гайнуллин [и др.]. – EDN WDKGVZ.

6. Бондаренко, В. М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях : учебное пособие / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин ; В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – Москва : Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, 2009. – 87 с. – ISBN 978-5-98523-083-3. – EDN TSRUZZ.

7. Элементы теории реконструкции железобетона / В. М. Бондаренко, А. В. Боровских, С. В. Марков, В. И. Римшин. – Москва : Российская академия архитектуры и строительных наук, 2002. – 190 с. – EDN SAQAVJ.

8. Варламов, А. А. Модели поведения бетона. Общая теория деградации : для студентов инженерно-строительных факультетов, получающих образование по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / А. А. Варламов, В. И. Римшин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИН-ФРА-М», 2019. – 436 с. – (Научная мысль). – ISBN 978-5-16-014615-7. – DOI 10.12737/monography_5c8a716e3c4460.52838016. – EDN JMPWEC.

9. Кришан, А. Л. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика / А. Л. Кришан, В. И. Римшин, М. А. Астафьева. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – 322 с. – ISBN 978-5-4323-0352-3. – EDN ROLLKN.

10. Кучеренко, В. А. Определение причин образования трещин в несущих и ограждающих конструкциях бассейна в здании / В. А. Кучеренко, В. Л. Курбатов, В. И. Римшин // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 75-81. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_75. – EDN UBSOCH.

11. Ларионов, Е. А. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов / Е. А. Ларионов, В. И. Римшин, Н. Т. Василькова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – № 2. – С. 77-81. – EDN OUWXHV.

12. Петров, В. В. Монолитные железобетонные перекрытия с повышенной несущей способностью / В. В. Петров, В. Г. Мурашкин // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 1(10). – С. 38-45. – DOI 10.51608/26867818_2021_1_38. – EDN KLWVJS.

13. Инженерные расчёты несущих конструкций как один из этапов проектирования жилого здания / В. И. Римшин, П. С. Трунцов, И. С. Кузина, Е. С. Кецко // Университетская наука. – 2021. – № 1(11). – С. 71-76. – EDN MNNFRI.

14. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex-stressed reinforced concrete element under torsion with bending International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. T. 17. № 1. С. 34-47.

15. Compressed Reinforced Concrete Elements Bearing Capacity of Various Flexibility / A. L. Krishan, M. A. Astafeva, V. I. Rimshin [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 283-291. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_26. – EDN JPNURD.



16. Kuzina, E. S. Calculation Method Analysis for Structure Strengthening with External Reinforcement / E. S. Kuzina, V. I. Rimshin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. – Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 022004. – DOI 10.1088/1757-899X/753/2/022004. – EDN GPHIDC.

17. Kuzina, E. The Reliability of Building Structures Against Power and Environmental Degradation Effects / E. Kuzina, V. Rimshin, V. Kurbatov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : electronic edition, Vladivostok, 02–04 октября 2018 года. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042009. – DOI 10.1088/1757-899X/463/4/042009. – EDN WUBLMV.

18. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse / M. Lukin, V. Martynov, V. Rimshin, I. Aleksievets // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 577-587. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_50. – EDN KHGIGK.

19. Calculating the Strengthening of Construction Structures Before the Reconstruction of the Building / A. N. Neverov, E. S. Ketsko, P. S. Truntov, V. I. Rimshin // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 173-179. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_14. – EDN GHCLDA.

20. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing / V. I. Rimshin, P. S. Truntov, I. S. Kuzina [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 182. – P. 55-73. – DOI 10.1007/978-3-030-85236-8_5. – EDN YFEXGC.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 16.06.2022; одобрена после рецензирования 11.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 16.06.2022; approved after reviewing 11.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



Научная статья
УДК 691.5
ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2022_3_34

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛИ И СТЕКЛОБОЯ

© Авторы 2022
SPIN: 1537-7091
AuthorID: 661454

БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна
кандидат технических наук, доцент кафедры строительства,
строительных материалов и конструкций
Тульский государственный университет
(Россия, Тула, e-mail: ksv.0804@yandex.ru)

ПЧЕЛЬНИКОВА Виктория Александровна
магистрант
Тульский государственный университет
(Россия, Тула, e-mail: vezun76@yandex.ru)

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке композиционных гипсовых вяжущих веществ с применением керамзитовой пыли и тонкомолотого стеклобоя. Полученные составы композиционных гипсовых вяжущих с использованием портландцемента, суперпластификатора и кремнеземистой добавки в виде керамзитовой пыли или стеклобоя обладают повышенными прочностными показателями и коэффициентом водостойкости.

Ключевые слова: строительные материалы, строительный гипс, керамзитовая пыль, стеклобой, композиционное гипсовое вяжущее, водостойкость

Для цитирования: Барковская С.В., Пчельникова С.А. Разработка композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием керамзитовой пыли и стеклобоя // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 34-38. doi:10.51608/26867818_2022_3_34.

Original article

DEVELOPMENT OF COMPOSITE GYPSUM BINDERS USING CERAMIC DUST AND GLASS

© The Author(s) 2022

BARKOVSKAY Svetlana Vladimirovna
Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor
of the Department of Construction, Building Materials and Structures
Tula state University
(Russia, Tula, e-mail: ksv.0804@yandex.ru)

PCHELNIKOVA Viktoriy Aleksandrovna
master's degree
Tula state University
(Russia, Tula, e-mail: vezun76@yandex.ru)

Annotation. The article presents the results of experimental research on the development of composite gypsum binders using expanded clay dust and thin-ground glass. The obtained compositions of composite gypsum binders using Portland cement, superplasticizer and silica additive in the form of expanded clay dust or fiberglass have increased strength and water resistance coefficient.

Keywords: building gypsum, expanded clay dust, glass, composite gypsum binder, water resistance

For citation: Barkovskay S.V., Pchelnikova V.A. Development of composite gypsum binders using ceramic dust and glass // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 34-38. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_34.



Введение

Применение гипсового сырья для строительных материалов по сравнению с материалами на цементном вяжущем аналогичного назначения отличается пониженными энергозатратами при производстве, а также более лучшими экологическими показателями. Например, для обжига портландцемента необходимо обеспечение температуры 1450 °С, строительной извести – 100 – 1100 °С, а строительный гипс может быть получен при температуре 120 – 160 °С. Однако, при своих положительных свойствах: более низкая стоимость, доступность сырья, простота применения, гипсовым вяжущим присущи такие недостатки, как низкая водостойкость и морозостойкость, относительно невысокая прочность, а также значительное снижение прочностных показателей при увлажнении.

Одним из способов устранения недостатков гипсовых вяжущих являются композиционные вяжущие вещества на основе строительного гипса. Композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) должны характеризоваться пониженной водопотребностью, повышенными прочностными показателями, способностью к гидравлическому твердению, а также формированием мелкопористой структуры камня, которая обеспечит повышение водостойкости и долговечности. В данной работе рассматривается получение композиционных гипсовых вяжущих с помощью активированной смеси портландцемента, кремнеземистых добавок, поверхностно-активных веществ.

Для получения КГВ необходимо обеспечение следующих условий:

1) определение оптимального количества кремнеземистых добавок и необходимого количества портландцемента для обеспечения гидравлической композиции гипсового вяжущего;

2) в начальные сроки, когда структура ещё податлива, должно проходить образование основного количества этtringита, с обеспечением прекращения этого процесса во времени;

3) в последующий период твердения необходимо поддержание низкой концентрации гидроксида кальция.

При твердении гипсоцементных вяжущих кремнеземистая добавка дает активный кремнезем, который снижает концентрацию гидроксида кальция в растворе, т.е. устраняются условия устойчивого существования этtringита. Избыток активного кремнезема предотвращает образование высокоосновного гидросульфалюмината кальция (этtringита) из минерала портландцемента $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF – алюмоферритная фаза), сокращая связывание дигидрата сульфата кальция минералом $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A), что способствует образованию низкооснов-

ного гидросульфалюмината кальция вместо этtringита. Новые образующиеся соединения характеризуются значительно меньшими размерами молекул, по сравнению с этtringитом, что обеспечивает твердение гипсоцементных систем, содержащих активный кремнезем, без нарушения структуры и прочности [1-2].

Таким образом, условия для разработки композиционных гипсовых вяжущих (гипсо-цементно-кремнеземистых систем) следующие:

1) количество портландцемента должно обеспечивать необходимую гидравлическую и водостойкость вяжущего;

2) компоненты композиционного вяжущего (портландцемент, гипс, керамзитовая пыль, микронаполнитель из утильного стеклобоя) необходимо активировать, в случае с портландцементом, для повышения степени его гидратации и связыванию большей части алюминатов с гипсом для образования этtringита в начальный период твердения системы;

3) кремнеземистый компонент необходим для снижения концентрации гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Кремнеземистый компонент взаимодействует с гидроксидом кальция в первоначальный период структурообразования и при длительном твердении. В данной работе применяли малоактивные кремнеземистые компоненты: керамзитовую пыль и стеклобой.

Кремнеземистые компоненты в составе композиционного гипсового вяжущего вещества могут быть представлены тремя группами: высокоактивные, которые содержат активный и аморфный кремнезем (микрокремнезем, белая сажа), обычные, содержащие аморфный кремнезем (зола-унос, доменные гранулированный шлак) и малоактивные (обожженная глина, стеклобой), которые содержат, в основном, кристаллический кремнезем или малое количество аморфного кремнезема. В данной работе рассматривается введение в состав КГВ в качестве кремнеземистого компонента керамзитовой пыли и стеклобоя.

Керамзитовая пыль применялась рядом авторов для разработки композиционных вяжущих веществ, как на гипсовых вяжущих, так и на основе цементных вяжущих [1-5]. Утилизации стеклобоя также является актуальной в нашей стране, учитывая тот факт, что каждый год в нашей стране образуется около 1,2 млн. тонн отходов стекла, а доля стеклобоя в общем количестве твердых бытовых отходов составляет 4 – 7% [6]. Утилизация стеклобоя может производиться, как в качестве заполнителя и наполнителя в эпоксидных композитах для сохранения светопрозрачности материала [7], другие исследователи использовали бой стекла в качестве основного компонента связующего в цементных системах



[8], а так же разрабатывались бесцементные составы с условиями гидротермальной обработки [9].

Материалы и методы

В качестве вяжущих использовались: гипсовое вяжущее марки Г-5 В II ЗАО «Самарского гипсового комбината» (ГОСТ 125 – 2018), портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Липецкцемент» (ГОСТ 31108 – 2020). Пластификатор С-3 – нафталинформальдегидный суперпластификатор для бетонов и строительных растворов, отвечающий требованиям к суперпластифицирующим и суперводоредуцирующим добавкам по ГОСТ 24211, а также требованиям ТУ 5870-002-58042865-03 с изм. №1. Кремнеземсодержащие добавки: керамзитовая пыль и утильный стеклобой.

При исследовании физико-механических свойств исходных вяжущих использовали стандартные методы испытаний, принятые для соответствующих вяжущих. Оценку консистенции и сроков схватывания теста из композиционного вяжущего в виду его быстрого схватывания и преобладающего содержания в нем полуводного гипса проводили по ГОСТ 23789 – 2018. Прочностные характеристики образцов из композиционного вяжущего определяли в разные сроки твердения по ГОСТ 310.4 – 81.

Для возможности оценки влияния введения комплекса на прочность композиционного гипсового вяжущего во времени прочностные показатели образцов определялись как в возрасте, определенном ГОСТ 23789 – 2018 для гипсовых вяжущих – 2 часа, так и в возрасте 7 и 28 суток.

Для активации выбранных компонентов данной работе применялись механическая и механохимическая активация (дополнительный помол гипсового вяжущего в присутствии суперпластификатора С-3) в лабораторной шаровой мельнице. Механическая активация содействует ускорению степени гидратации, способствует ускорить связывание гидроксида кальция, как следствие, положительно влияет на плотность и прочность затвердевшего композиционного гипсового вяжущего вещества [2]. Кремнеземистые компоненты также проходили домол в лабораторной шаровой мельнице.

Результаты

С целью выявления необходимости помола вяжущего при получении композиционного гипсового вяжущего на первоначальном этапе проводилось сравнение механической и механохимической активации гипсового вяжущего, т.е. в присутствии добавки С-3. Результаты приведены в таблице 1. Следует отметить, что в таблице для механохимической активации приведены результаты с применением ранее определенного оптимального количества добавки суперпластификатора С-3.

Таблица 1 – Влияние домола на свойства гипсового вяжущего

Продолжительность домола, мин	Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная густота гипсового теста	Прочность при сжатии, МПа		Средняя плотность камня, г/см ³	
			через 2 часа	высуш. до постоянн. массы	через 2 часа	высуш. до постоянн. массы
механическая активация гипсового вяжущего						
0	350	0,52	5,2	12,0	1,77	1,35
5	540	0,64	4,7	11,0	1,70	1,17
10	780	0,73	4,3	10,2	1,69	1,14
15	1050	0,81	3,5	7,5	1,62	1,01
механохимическая активация гипсового вяжущего						
5	560	0,49	6,9	14,0	1,75	1,40
10	820	0,40	7,5	19,0	1,82	1,44
15	1090	0,36	6,9	20,2	1,72	1,20

На первоначальном этапе при применении механической активации даже при непродолжительном домоле гипсового вяжущего получали быстрый рост удельной поверхности, как следствие, возрастала водопотребность, что подтверждается результатами других работ [4, 10]. В дальнейшем использовали только механохимическую активацию гипсового вяжущего – дополнительный помол в присутствии суперпластификатора С-3. Было установлено эффективное количество суперпластификатора, необходимого при домоле, при котором достигалось снижение водопотребности не менее чем на 20%, и повышение прочностных показателей не менее чем на 1 марку.

В качестве компонента, связывающего гидроксид кальция (кремнеземистого компонента) в составах гипсоцементнопуццоланового вяжущего может успешно рассматриваться молотый кварцевый песок [3]. Керамзитовая пыль менее активна, чем молотый кварцевый песок, но при увеличении ее удельной поверхности её активность повышается. Стеклобой напротив даже при тонком измельчении проявляет слабую активность, но гидравлическая активность данного компонента проявляется на всем протяжении твердения гипсоцементной композиции.

Таким образом, после предварительных исследований по определению влияния домола на активность компонентов, а также отдельных испытаний по определению необходимости и доли кремнеземистого компонента в составе вяжущего, проводилось определение оптимального соотношения величин кремнеземистая добавка/цемент. Иначе говоря, определение минимально необходимого содержания композиции, состоящей из портландцемента, кремнеземистой добавки, суперпластификатора (ПКС), в составе композиционного гипсового вяжущего.



щего вещества. Это количество композиции должно быть таким, чтобы максимально заполнять пустоты в затвердевшем гипсовом камне. По расчету для принятого в исследованиях гипсового вяжущего пористость колеблется в пределах 33 – 42% в зависимости от начального водосодержания. Абсолютный объем композиции (ПКС) из уравнения абсолютных объемов в данном случае будет равен 15 – 24 %. В результате расчетов получили, что содержание композиции в композиционном гипсовом вяжущем должно составлять 16 – 21 % по массе от всего вяжущего. Содержание портландцемента принято в пределах 10 – 15 % от массы КГВ, а количество композиции (20 – 40 %). Для сравнения были проведены исследования с содержанием композиции до 50 %. Результаты определения свойств композиционных гипсовых вяжущих приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты водосодержания КГВ

Вид добавки	№ состава	Состав вяжущего, % по массе				Нормальная густота
		гипсовое вяжущее	состав композиции			
			портланд-цемент	кремнеземистая добавка	С-3	
керамзитовая пыль	K1	79	10	10	1	0,41
	K2	69	10	20	1	0,36
	K3	69	15	15	1	0,35
	K4	54	15	30	1	0,38
стеклобой	C1	78	10	11	1	0,33
	C2	68	10	21	1	0,35
	C3	67	15	17	1	0,35
	C4	52	15	32	1	0,38

Нормальная густота приведенных составов композиционного гипсового вяжущего соответствует водовяжущему отношению, обеспечивающему распыл цилиндра по ГОСТ 23789 – 2018, равном 180 ± 5 мм.

Таблица 3 – Основные физико-механические свойства КГВ

№ состава	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте			Средняя плотность, г/см ³ , в возрасте 28 сут.	Коэффициент размягчения
	2 ч.	7 сут.	28 сут.		
K1	5,0	7,9	12,3	1,65	0,68
K2	5,2	11,7	14,2	1,69	0,72
K3	5,0	9,1	15,3	1,71	0,72
K4	4,8	13,4	16,4	1,70	0,75
C1	6,3	10,5	15,1	1,69	0,66
C2	6,2	10,3	16,3	1,69	0,69
C3	5,7	11,7	16,8	1,73	0,72
C4	4,1	10,4	16,8	1,72	0,67

Следует отметить, что все составы композиционных гипсовых вяжущих, содержащие 1 % суперпластификатора С-3, характеризуются повышенным

коэффициентом размягчения (0,65 – 0,72), в то время, как составы без суперпластификатора имели коэффициент размягчения 0,45 – 0,60.

Полученные составы КГВ, % по массе:

1) с керамзитовой пылью: строительный гипс 54%, портландцемент 15%, керамзитовая пыль 30%, пластификатор С-3 1%;

2) с тонкомолотым стеклобоем: строительный гипс 67%, портландцемент 15%, тонкомолотый стеклобой 17%, пластификатор С-3 1%.

Обсуждение

Необходимо отметить, что увеличение гидравлического комплекса в составе КГВ до 50% приводит к повышению прочности на сжатие в возрасте 28 суток, при этом начальная прочность (стандартный срок испытания строительного гипса на прочность 2 ч) наоборот снижается. Это объясняется тем, что начальную прочность обеспечивает количество быстротвердеющего гипсового вяжущего и его активность, а прочность в более поздние сроки твердения определяет гидравлический компонент (ПКС) и его характеристики.

Для получения оптимальной структуры необходимо в дальнейшем дополнительная оптимизация составов по содержанию портландцемента, т.к. увеличение содержания портландцемента в комплексе и дополнительная активизация цемента также будет способствовать повышению прочности и водостойкости вяжущего.

Заключение

В ходе проведения исследований установлены составы композиционных гипсовых вяжущих, содержащих строительный гипс, комплекс из портландцемента, кремнеземистых добавок (керамзитовой пыли или стеклобоя), суперпластификатора С-3. Данные составы позволяют получить комплексное гипсовое вяжущее с прочностью на сжатие при длительном твердении (в возрасте 28 суток) до 16 МПа.

Полученные композиционные гипсовые вяжущие могут расширить область применения строительного гипса, а также позволяют частично решить проблему утилизации отходов промышленности, в частности керамзитовой пыли и стеклобоя.

Библиографический список

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. - М.: Инфра-Инженерия. 2011. 544 с.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат. 1979. 476 с.
3. Нечаева Е.Ю., Тугушев Р.А., Уруев В.М. Модификация свойств строительного гипса // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2009. № 1 – 2. С. 107 – 113.



4. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Строительный гипс с добавками керамзитовой пыли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2(20). С. 166 – 171.
5. Хлыстов А.И. Экологические аспекты утилизации отходов керамзитового производства в составах материала общестроительного и специального назначения / А.И. Хлыстов [и др.] // Башкирский химический журнал. 2014. Т.21. №4, С. 116 – 123.
6. Соков В. Н. Отходы стеклобоя и полистирола в качестве сырья при производства строительных материалов / В. Н. Соков, А. Ю. Логунин, А. А. Егорова // Инновационная наука в глобализующемся мире. 2015. № 1(2). С. 112 – 114.
7. Прудков Е. Н., Кузьмина С.В. Оптимизация составов и исследование свойств модифицированных эпоксидных композитов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 4 – 2. С. 117 – 124.
8. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В. Строительные материалы на основе отходов стекла // Вестник Мордовского университета. 2008. № 4. С. 70 – 79.
9. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Зейфман М.И., Тотурбиев Б.Д. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол. - М.: Стройиздат. 1986. 144 с.
10. Гайфуллин А. Р. Исследования свойств строительного гипса с добавкой молотой керамзитовой пыли / А. Р. Гайфуллин, М. И. Халиуллин, М. И. Нуриев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 210 – 212.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 05.04.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 05.04.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



Научная статья

УДК 624.01

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2022_3_39

ОПИСАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРИ РАЗГРУЗКЕ С НАПРЯЖЕНИЙ СЖАТИЯ

© Авторы 2022

SPIN: 2492-7355

AuthorID: 625302

ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное
и гражданское строительство»

*Тольяттинский государственный университет
(Россия, Тольятти, e-mail: gsx@tltsu.ru)*

SPIN: 1277-2375

AuthorID: 806609

ЖЕМЧУЕВ Артур Олегович

аспирант

*Тольяттинский государственный университет
(Россия, Тольятти, e-mail: tyrist1990@list.ru)*

Аннотация. В данной статье представлено описание криволинейных диаграмм деформирования бетона при разгрузке с напряжений сжатия с учетом переменных уровней напряжений, также представлено описание диаграммы остаточных деформаций, образующихся после снятия нагрузки (разгрузки). Также продемонстрировано описание стабилизационной диаграммы. Описание диаграмм и ветвей «разгрузки», «нагрузки» основано на энергетических законах механики деформируемого твердого тела с учетом интегральных параметров диаграмм.

Ключевые слова: криволинейная диаграмма, разгрузка, стабилизационная диаграмма, остаточные деформации, напряжение сжатия, энергетические законы, интегральные параметры, строительство

Для цитирования: Ерышев В.А., Жемчуев А.О. Описание криволинейных диаграмм деформирования бетона при разгрузке с напряжений сжатия // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 39-41. doi:10.51608/26867818_2022_3_39.

Original article

DESCRIPTION OF CURVILINEAR DIAGRAM OF CONCRETE DEFORMATION DURING UNLOADING FROM COMPRESSION STRESS

© The Author(s) 2022

ERYSHEV Valery Alekseevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial
and Civil Engineering

Togliatti State University

(Russia, Togliatti, e-mail: gsx@tltsu.ru)

ZHEMCHUEV Artur Olegovich

postgraduate student

Togliatti State University

(Russia, Togliatti, e-mail: tyrist1990@list.ru)

Annotation. This article presents a description of the curvilinear diagrams of concrete deformation during unloading from compressive stresses considering variable stress levels, and a description of the diagram of residual deformations formed after unloading is presented. A description of the stabilization diagram is also shown. The description of the diagrams and branches of "unloading" is based on the energy laws of the mechanics of a deformable solid body taking into account the integral parameters of the diagrams.

Keywords: curvilinear diagram, unloading, stabilization diagram, residual deformations, compressive stress, energy laws, integral parameters



For citation: Eryshev V.A., Zhemchuev A.O. Description of curvilinear diagram of concrete deformation during unloading from compression stress // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 39-41. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_39.

В реальных условиях эксплуатации железобетонные конструкции подвергаются воздействию не только постоянных, но и временных нагрузок (ветровые, снеговые, транспортные и т.д.), которые периодически, то возникают, то пропадают. За счет чего на элементы зданий и сооружений воздействуют периодические нагружения временными воздействиями, а затем разгрузка (циклическое приложение и снятие нагрузки) [1], что в свою очередь необходимо учитывать при расчете стержневых железобетонных элементов, как по прочности, так и по деформациям. Исходя из этого использование диаграмм деформирования бетона при разгрузке является весьма актуальным.

В исследованиях [1-4] отмечается, что для описания ветвей разгрузки и повторной нагрузки рассматривался «лучевой метод», где ветви представляются прямыми линиями (рисунок 1). Данный метод не отражает в полной мере реальную работу железобетона, а именно не учитывает нелинейность его работы.

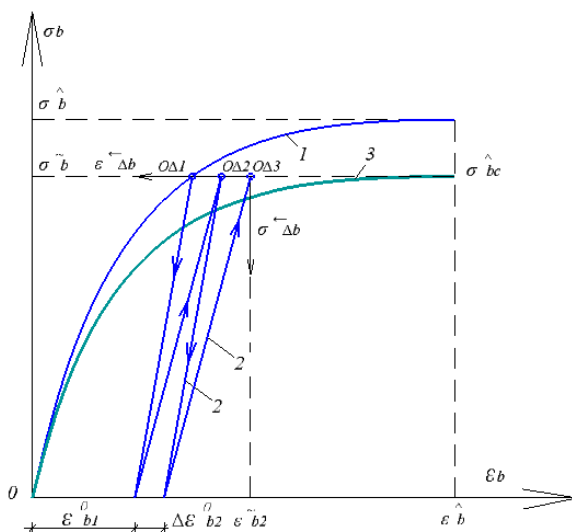


Рисунок 1. Диаграмма «разгрузка» - «нагрузка»:
1 – Исходная диаграмма; 2 – Ветви «разгрузки» и «нагрузки», описанные лучевым методом;
3 – Стабилизационная диаграмма

В данной работе для описания ветвей «разгрузки» и «нагрузки» применен метод, основанный на энергетических законах механики деформированного твердого тела, суть данного метода описана в работах [5-6]. В качестве исходной диаграммы брался участок восходящей ветви криволинейной диаграммы деформирования бетона класса В15 (рисунок 2б), который ограничивается соответственно предельным значением напряжений $\hat{\sigma}_b$, и предель-

ным значением относительных деформаций $\hat{\epsilon}_b$. Описание ветвей «разгрузки» и «нагрузки» основывается на зависимостях, которые включают в себя ϵ_b – относительные продольные деформации; σ_b – напряжения; E_b – начальный модуль упругости и ν_b – коэффициент изменения секущего модуля. Для данных диаграмм вводятся обозначения: параметры с волной (~) которые соответствуют их значениям в вершине диаграмм на каждом цикле $\tilde{\epsilon}_b, \tilde{\sigma}_b, \tilde{\nu}_b$.

И соответственно данные зависимости будут записаны в виде (1.1, 1.2, 1.3).

$$\tilde{\epsilon}_b = \frac{\tilde{\sigma}_b}{E_b \tilde{\nu}_b} \quad (1.1)$$

$$\tilde{\sigma}_b = \tilde{\epsilon}_b E_b \tilde{\nu}_b \quad (1.2)$$

$$\tilde{\nu}_b = \frac{\tilde{\sigma}_b}{E_b \tilde{\epsilon}_b} \quad (1.3)$$

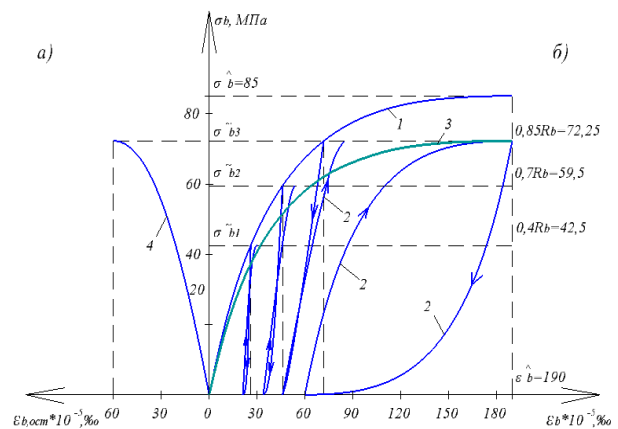


Рисунок 2. а) остаточные деформации, б) диаграмма разгрузки:

- 1 – Исходная диаграмма деформирования бетона;
- 2 – Ветви «разгрузки» и «нагрузки», описанные с учетом нелинейных свойств деформирования бетона;
- 3 – Стабилизационная диаграмма; 4 – Диаграмма остаточных деформаций

Ветви «разгрузки, ←» и «нагрузки, →» (рисунок 2б) описывались при уровнях напряжений $0,4R_b, 0,7R_b$ и $0,85R_b$, предельный уровень напряжений или предел стабильности, при котором наступает стабилизация деформаций равен $0,85R_b = \hat{\sigma}_{bc}$ принят по опытным данным Ерышева В.А., при дальнейших увеличениях значений напряжений бетон разрушается, достигая предельных значений деформаций $\hat{\epsilon}_b$.

С целью ограничения деформаций в вершинах циклов вводится стабилизационная диаграмма (рисунок 2б) с координатами вершины $\hat{\sigma}_{bc}$ и $\hat{\epsilon}_b$. Описание стабилизационной диаграммы бетона основывается также на зависимостях, представленных в работах [1,5,6], при ее описании значение началь-



ного модуля упругости E_b заменяется на $E_{bc} = 0,9E_b$.

Также известно, что при осуществлении «разгрузки» в элементах железобетонных конструкций накапливаются остаточные деформации (рисунок 2а), в качестве предельного значения остаточных деформаций $\hat{\epsilon}_{b,ост}$ принято по опытным данным Ерышева В.А. $60 \cdot 10^{-5} \%$ [1], на основании этого была описана диаграмма остаточных деформаций, которая также описана по условиям [1, 5, 6].

Выводы: исходя из описания ветвей «разгрузки» и «нагрузки» с учетом нелинейных свойств деформирования бетона можно сделать вывод, что в дальнейшем расчеты стержневых железобетонных элементов по данным диаграммам будут давать более точные результаты, так как они учитывают реальную работу бетона.

Библиографический список

1. Ерышев В.А. Методика расчета деформаций бетона при режимных нагружениях: монография / В.А. Ерышев. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014. – 131 с.: пер.;

2. Ерышев В.А. Исследование деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений / В.А. Ерышев, Ю.С. Афанасьева // Вестник НГИЭИ. – 2015 - № 6 (49) – С. 20-24;

3. Ерышев В.А. К построению диаграмм циклического нагружения бетона при одноосном сжатии / В.А. Ерышев, Е.В. Латышева, С.В. Ключников, Н.С. Седина // Известия КГАСУ. – 2013. – № 1(23). – С. 104–109.

4. Ерышев В.А. Расчетная модель определения остаточных деформаций изгибаемых железобетонных элементов при разгрузке / В.А. Ерышев, Д.С. Тошин, Д.И. Латышев // Известия КГАСУ. – 2009. – № 1(11). – с. 85-91.

5. Ерышев В.А. Численные методы расчета прочности железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования материалов / В.А. Ерышев / Вестник НГИЭИ. – 2018 - № 6 (85) – С. 17-26.;

6. Ерышев В.А. Интегральные параметры диаграмм бетона в расчетах прочности железобетонных элементов по деформационной модели / Ерышев В.А., Карпенко Н.И., Жемчужев А.О. // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2020. - № 16(1). – С. 25-37.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 18.04.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 18.04.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



Научная статья

УДК 691.175

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2022_3_42

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

© Авторы 2022
SPIN: 9554-7491
AuthorID: 960202

КАНАЕВА Надежда Сергеевна

аспирант

*Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН
(Россия, Москва), Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: aniknadya@yandex.ru)*

SPIN: 9332-6318
AuthorID: 717473
ORCID: 0000-0001-8762-5369
ScopusID: 57190172059
ResearcherID: P-2639-2017

НИЗИН Дмитрий Рудольфович

кандидат технических наук, инженер

*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: nizindi@yandex.ru)*

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

НИЗИНА Татьяна Анатольевна

доктор технических наук, профессор

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

Аннотация. Исследованы релаксационные свойства полимерного материала, полученного на основе модифицированной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М. Рассчитаны параметры кривых релаксации напряжения с аппроксимацией уравнением Кольрауша и ядрами релаксации $T_1(t)$ и $T_2(t)$ уравнения Больцмана. Проведено сравнение коэффициентов корреляции Пирсона исследуемых уравнений и выявлена наилучшая математическая модель для описания релаксационных процессов в полимерных материалах.

Ключевые слова: полимерные материалы, эпоксидные полимеры, релаксация напряжений, уравнение Кольрауша, уравнение Больцмана, ядро релаксации, строительные материалы

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90287.

Для цитирования: Канаева Н.С., Низин Д.Р., Низина Т.А. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 42-46. doi:10.51608/26867818_2022_3_42.



Original article

RELAXATION PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS BASED ON EPOXY BINDERS

© The Author(s) 2022 **KANAeva Nadezhda Sergeevna**
graduate student
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: aniknadya@yandex.ru)

NIZIN Dmitry Rudolfovich
Candidate of Technical Sciences, Engineer
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: nizindi@yandex.ru)

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

Annotation. The relaxation properties of a polymer material obtained on the basis of a modified resin Etal-247 and a hardener Etal-45M are investigated. The parameters of the stress relaxation curves with approximation by the Kohlrausch equation and relaxation cores $T_{-1}(t)$ and $T_{-2}(t)$ of the Boltzmann equation are calculated. The Pearson correlation coefficients of the studied equations are compared and the best mathematical model for describing relaxation processes in polymer materials is revealed.

Keywords: polymer materials, epoxy polymers, stress relaxation, Kohlrausch equation, Boltzmann equation, relaxation core

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the RFBR as part of the scientific project No. 20-38-90287.

For citation: Kanaeva N.S., Nizin D.R., Nizina T.A. Relaxation properties of polymer materials based on epoxy binders // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 42-46. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_42.

В настоящее время полимерные материалы все чаще применяются в различных отраслях промышленности. Наиболее широкое распространение полимеры получили в строительстве, авиа- и ракетостроении, машино- и автомобилестроении в качестве защитных покрытий, ограждающих панелей и конструкций, клеев, связующих в композитах и т.д. В процессе эксплуатации изделия и покрытия на полимерной основе подвергаются совместному влиянию различного рода механических нагрузок, агрессивных сред и климатических факторов.

Анализ механического разрушения является довольно сложной задачей, поскольку полимерные системы обладают комплексом свойств, которые трансформируются в процессе деформирования. Структура полимера, подверженного механическому воздействию, непрерывно меняется, что, в конечном счете, и определяет его прочностные характеристики [1-3]. При этом математическое описание процесса релаксации с определением физических показателей исследуемых полимеров, без сомнений, является важной научной задачей.

На данный момент существуют разные подходы для описания релаксационных процессов [4–

10]. В работах [8-9] предложено для описания релаксационных процессов использовать уравнение Кольрауша:

$$\sigma = \sigma_0 \exp^{-(t/\tau)^k}, \quad (1)$$

где σ_0 – напряжение в момент начала разгрузки; σ – напряжение в момент времени t ; τ и k – параметры зависимости (1), определяемые с помощью метода наименьших квадратов по формулам:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \ln t_i - \sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \sum_{i=1}^n \ln t_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln t_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln t_i)^2}, \quad (2)$$

$$\tau = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \ln t_i \sum_{i=1}^n \ln t_i - \sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \sum_{i=1}^n (\ln t_i)^2}{n \sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \ln t_i - \sum_{i=1}^n \ln(-\ln \tilde{\sigma}_i) \sum_{i=1}^n \ln t_i} \right), \quad (3)$$

где $\sigma(t_i)$ – экспериментальное значение напряжения в момент времени t_i ; $\tilde{\sigma}_i = \sigma(t_i)/\sigma_0$, $\tilde{\sigma}_i$ лежит в диапазоне $0 < \tilde{\sigma}_i \leq 1$, $\ln \tilde{\sigma}_i \leq 0$.

Одним из наиболее успешных подходов для описания релаксационных процессов в структуре полимерных материалов является расчет различных вариантов ядер релаксации уравнения Больцмана, предложенный А.А. Аскадским. В работах [6, 7, 10] предложен подход, согласно которому процесс ре-



лаксации в структуре полимерного материала происходит за счет взаимодействия и диффузии кинетических единиц – релаксаторов. К релаксаторам могут быть отнесены различные атомные группы, повторяющиеся звенья молекул и целые сегменты макромолекул, а также отдельные элементы свободного (пустого) объема – микрополости, концентраторы напряжения и т.д. Для описания взаимодействия релаксаторов предложено [6, 7, 10] использовать ядра $T_1(t)$ и $T_2(t)$, учитывающие различные механизмы, регулирующие изменение энтропии в ходе релаксационного процесса.

Ядро $T_1(t)$ соответствует предположению, что основой процесса релаксации напряжения является взаимодействие релаксаторов, например слияние микропор в одну микрополость и переход в нерелаксирующий материал, где релаксационные процессы уже завершены [10]:

$$T_1(t) = -\frac{S_0}{k_B m_1} \left[\frac{1}{[f_1(t) - \alpha_0] \ln[f_1(t) - \alpha_0] + [1 - f_1(t) + \alpha_0] \ln[1 - f_1(t) + \alpha_0]} - \frac{1}{\ln 0,5} \right], \quad (4)$$

где $f_1(t) = \frac{1}{(1 + k^* t / \beta)^\beta}$, причем $f_1(t) \geq 0,5$; α_0 – кон-

станта, определяющая долю релаксаторов, перешедших в нерелаксаторы за малое время задания деформации, $\alpha_0 \sim 10^{-10}$; S_0 – начальная энтропия системы; k_B – константа Больцмана; m_1 – общее число кинетических единиц (релаксаторов и нерелаксаторов) в единице объема; $k^* = k c_0^{n-1}$; k – константа скорости взаимодействия; c_0 – начальная концентрация релаксаторов; $\beta = (n - 1)^{-1}$; n – порядок реакций.

Ядро $T_2(t)$ описывает релаксационный процесс из предположения, что ключевой стадией релаксации является диффузия образующихся нерелаксаторов в материале образца [10]:

$$T_2(t) = -\frac{S_0}{k_B m_2} \left[\frac{1}{f_2(t) \ln f_2(t) + [1 - f_2(t)] \ln [1 - f_2(t)]} - \frac{1}{\ln 0,5} \right], \quad (5)$$

где $f_2(t) = a t^\gamma$ характеризует количество мест, занимаемых к моменту времени t кинетическими единицами в процессе их беспорядочного блуждания на решетке; a, γ – параметры системы.

В качестве объекта исследования были использованы образцы полимерного материала на основе эпоксидной смолы Этал-247 (ТУ 2257-200-18826195-02 изм.1) и отвердителя Этал-45М (ТУ 2257-045-18826195-01) производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Этал-247 представляет собой модифицированную эпоксидную смолу с массовой долей эпоксидных групп не менее 21,4÷22,8 % и вязкостью по Брукфильду при 25 °С в диапазоне 650÷750 СПз. Отвердитель Этал-45М – смесь ароматических и алифатических ди- или полиаминов, модифицированная салициловой кислотой.

Для определения предельных уровней растягивающих напряжений испытывалась серия образ-

цов-восьмерок в соответствии с ГОСТ 11262-2017. Испытания проводились с помощью разрывной машины серии AGS-X с программным обеспечением TRAPEZIUM X при температуре 23 ± 2 °С и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$. Скорость перемещения зажимов испытательной разрывной машины составляла 2 мм/мин.

Уровни растягивающих напряжений при исследовании релаксационных процессов подбирались близкими к 40, 60 и 80% от предела прочности при растяжении. С учетом округления до величин, кратных 5 МПа, уровни напряжений при растяжении соответствовали 10, 15 и 20 МПа.

Для изучения процесса релаксации напряжений образцы подвергались деформациям до заданной величины напряжения, после чего деформация оставалась постоянной, а напряжение, необходимое для ее поддержания, со временем уменьшалось (рис. 1). Длительность релаксационных процессов составляла 30 минут.

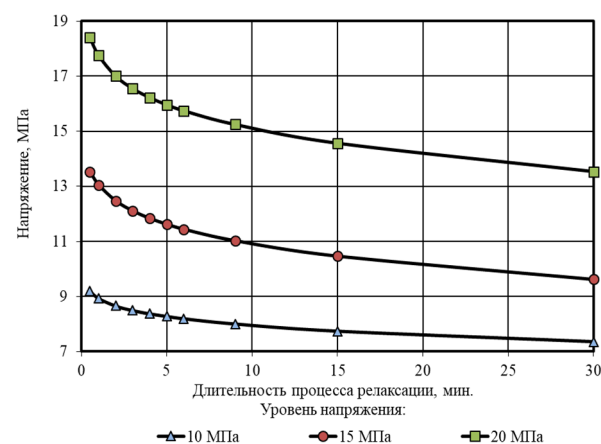


Рис. 1. Релаксационные кривые полимера на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемой Этал-45М, для напряжений 10, 15 и 20 МПа

Известно [10], что в ходе деформирования свободный объем, представляющий собой разность между истинным объемом полимерного тела и Ван-дер-Ваальсовым объемом атомов, который они занимают в полимерном теле, увеличивается. При значительном деформировании твердых (кристаллических и стеклообразных) полимеров появляется большой свободный объем (существенно облегчается перескок кинетических единиц из одного положения в другое), что приводит к ускорению релаксационного процесса.

Из анализа процессов релаксации исследуемого полимера на трех исследуемых уровнях установлено (рис. 2), что скорость релаксации к концу первой минуты для напряжения 20 МПа составляет 1,27 МПа/мин, для 15 и 10 МПа – 0,94 и 0,52 МПа/мин соответственно. Уже к концу 3 минуты скорость релаксации уменьшается более, чем в 2 раза.

Кривые скорости релаксации напряжений асимптотически стремятся к 0 (рис. 2), и к 30 минуте скорости для всех уровней напряжения снижаются до 0,03-0,07 МПа/мин.

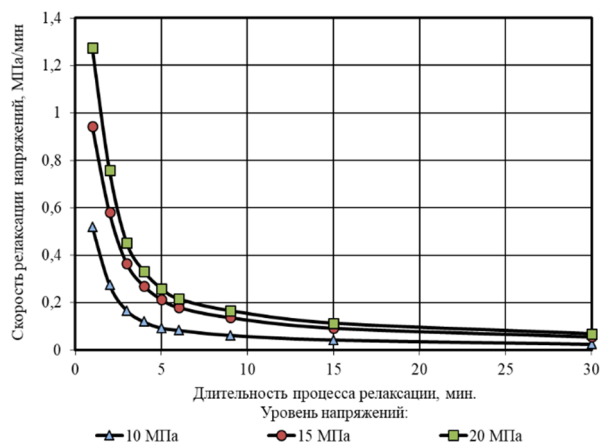


Рис. 2. Скорость релаксации напряжений полимера на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемой Этал-45М, для напряжений 10, 15 и 20 МПа

Используя методики, представленные в [6 – 10], были рассчитаны значения коэффициентов уравнений (1), (4), (5) для разного уровня нагружения (табл. 1–3). На рисунке 3 представлена аппроксимация

данных релаксации напряжения полимера при 20 МПа с помощью модели Кольрауша и ядер релаксации $T_1(t)$ и $T_2(t)$ уравнения Больцмана.

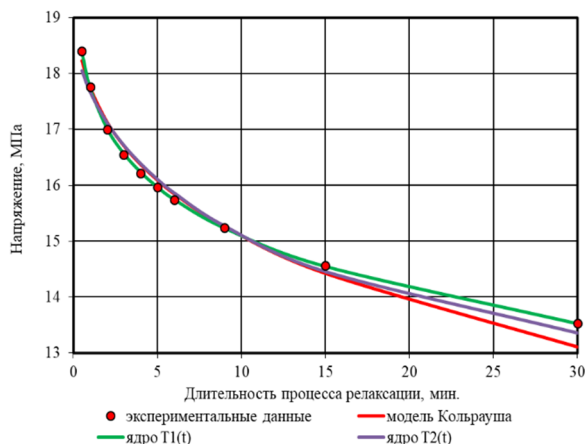


Рис. 3. Аппроксимация кривой релаксации напряжения полимера (20 МПа) на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемой Этал-45М, с помощью модели Кольрауша и ядер релаксации $T_1(t)$ и $T_2(t)$ уравнения Больцмана

В целом, числовые значения коэффициентов корреляции Пирсона достигают достаточно высоких значений ($R > 0,983$) при использовании всех трех мо-

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнения Кольрауша (1), экспериментальные и предсказанные значения начальных и конечных релаксирующих напряжений для исследуемого полимера Этал-247/Этал-45М

Уровень нагружения, МПа	Параметры уравнения (1)				Экспериментальные значения		Предсказанное значение	
	k	τ	σ_0 , МПа	R	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
10 МПа	0,311	1126,68	10,00	0,990	9,19	7,35	9,13	7,24
15 МПа	0,353	256,36	15,01	0,992	13,53	9,62	13,44	9,39
20 МПа	0,371	306,22	20,01	0,983	18,40	13,53	18,23	13,11

* σ_{∞} – равновесное напряжение.

Таблица 2. Параметры ядра релаксации $T_1(t)$ и предсказанные значения начальных и конечных релаксирующих напряжений для эпоксидного полимера Этал-247/Этал-45М

Уровень нагружения, МПа	Параметры ядра релаксации $T_1(t)$							Предсказанные значения	
	k^* , мин ⁻¹	n	A_1^* , Дж·кг/рад·м ³	Дж·кг	σ_0 , МПа	σ_{∞} , МПа	R	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
10 МПа	0,001	6	$2,98 \cdot 10^{26}$		12,22	4,58	0,999	9,18	7,35
15 МПа	0,001	6	$2,29 \cdot 10^{26}$		20,09	3,70	0,999	13,57	9,64
20 МПа	0,001	6	$2,43 \cdot 10^{26}$		26,49	6,15	0,999	18,39	13,53

* $A_1 = m_1/S_0$; σ_{∞} – равновесное напряжение.

Таблица 3. Параметры ядра релаксации $T_2(t)$ и предсказанные значения начальных и конечных релаксирующих напряжений для эпоксидного полимера Этал-247/Этал-45М

Уровень нагружения, МПа	Параметры ядра релаксации $T_2(t)$						Предсказанные значения	
	γ	a	A_2^* , Дж·кг/рад·м ³	σ_0 , МПа	σ_{∞} , МПа	R	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
10 МПа	0,5	0,05	$9,82 \cdot 10^{24}$	9,38	6,96	0,993	9,05	7,29
15 МПа	0,5	0,05	$6,82 \cdot 10^{24}$	14,00	8,80	0,995	13,29	9,51
20 МПа	0,5	0,05	$7,44 \cdot 10^{24}$	18,92	12,49	0,993	18,05	13,36

* $A_2 = m_2/S_0$; σ_{∞} – равновесное напряжение.



делей. При этом установлено, что использование уравнения Кольрауша позволяет получить более низкие значения R ($0,983 \pm 0,992$) по сравнению с аналогичными показателями при использовании ядер релаксации уравнения Больцмана ($R = 0,993 \pm 0,999$). Из сравнения предсказанных и исходных значений релаксирующих напряжений следует, что ошибка аппроксимации для длительности релаксации 30 минут составляет 3,1%.

Наилучшие показатели получены для ядра $T_1(t)$ уравнения Больцмана. Согласно положениям, изложенным в работах [6, 7, 10], в данном случае лимитирующей стадией процесса релаксации является полное взаимодействие релаксаторов и переход их в нерелаксирующий материал.

Необходимо отметить, что, несмотря на достаточно высокие значения коэффициентов корреляции ($R > 0,983$), полученных при использовании исследуемых зависимостей (1), (4), (5), различие в предсказанных значениях при использовании ядра $T_1(t)$ уравнения Больцмана (4) и модели Кольрауша (1) достигает к 60 минутам релаксации 7%, 90 минутам – 15%, что свидетельствует о важности получения наиболее точных оценок, в том числе по экспериментальным данным, фиксируемым на относительно коротких временных интервалах.

В ходе проведенных исследований изучено изменение релаксационных процессов полимерного материала, полученного на основе модифицированной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М, в зависимости от уровня прикладываемого напряжения. Расчеты показали применимость предложенных в работах [6-10] расчетных моделей для анализа релаксационного поведения полимерных материалов. Установлено, что использование ядра $T_1(t)$ уравнения Больцмана дает лучшие результаты для исследуемого состава, что подтверждает целесообразность его использования в дальнейших расчетах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 07.07.2022; одобрена после рецензирования 21.07.2022; принята к публикации 21.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 07.07.2022; approved after reviewing 21.07.2022; accepted for publication 21.07.2022.

Библиографический список

1. Иржак В.И., Розенберг Б.А., Ениколопан Н.С. Сетчатые полимеры – синтез, структура и свойства. - М.: Наука, 1979. 248 с.
2. Natural climatic aging of epoxy polymers, taking into account the seasonality impact / D. R. Nizin, T. A. Nizina, V. P. Selyaev [et al.] // Key Engineering Materials. – 2019. – Vol. 799 KEM. – P. 159-164. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.159. – EDN GQBRCE.
3. Анализ климатической стойкости модифицированных эпоксидных полимеров в условиях умеренно-континентального климата / Т. А. Низина, Д. Р. Низин, Д. А. Артамонов [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 1(4). – С. 33-42. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10005. – EDN DKNEJV.
4. Железняков А.С., Шеромова И.А., Старкова Г.П. Моделирование релаксации напряжения композиционных материалов при постоянной деформации // Фундаментальные исследования. 2014. №11. С. 2360-2364.
5. Хохлов А.В. Нелинейная модель вязкоупруго-пластичности типа Максвелла: общие свойства семейства кривых релаксации и ограничения на материальные функции // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. №6 (75). С. 31–55.
6. Мацеевич А.В., Аскадский А.А., Мацеевич Т.А. Релаксационные свойства материалов на основе смесей поливинилхлорида и АБС-пластика // Вестник МГСУ. 2015. №8. С.118–129.
7. Аскадский А.А., Пиминова К.С., Мацеевич А.В. Релаксационные свойства террасных досок, изготовленных из древесно-полимерных композитов (ДПК) // Строительные материалы. 2018. №6. С. 45–52.
8. Павлов В.И., Аскадский А.А., Слонимский Г.Л. Графоаналитический способ расчёта механических характеристик материала по релаксации напряжения при постоянной деформации // Механика полимеров. 1965. № 6. С. 16–19.
9. Жилин С.Г., Комаров О.Н., Потянихин Д.А., Соснин А.А. Экспериментальное определение параметров регрессионной зависимости Кольрауша для пористых прессовок из воскообразных порошковых композиций // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №2 (74). С. 1–17.
10. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т.1. Атомно-молекулярный уровень. - М.: Научный мир, 1999. 544 с.



Научная статья
УДК 678.8 : 691
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2022_3_47

НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕТОНА МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ НА ПЛЕНОЧНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

© Авторы 2022
SPIN: 5045-8231
AuthorID: 598915
ResearcherID: K-1164-2018

КРЮЧКОВ Виктор Алексеевич
старший научный сотрудник
Институт проблем нефти и газа Российской академии наук
(Россия, Москва, e-mail: kruchkov06@mail.ru)

SPIN: 5045-8231
AuthorID: 733450

КРЮЧКОВ Максим Викторович
кандидат химических наук, доцент кафедры газохимии
Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) *имени И.М. Губкина*
(Россия, Москва, e-mail: mail-mk@mail.ru)

ЮСИФОВ Рауф Юсифович
кандидат технических наук, начальник лаборатории
ГБУ города Москва «Центр экспертиз, исследований
и испытаний в строительстве» (ГБУ «ЦЭИИС»)
(Россия, Москва, e-mail: YusifovRYu@str.mos.ru)

ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович
ведущий инженер лаборатории
ГБУ города Москва «Центр экспертиз, исследований
и испытаний в строительстве» (ГБУ «ЦЭИИС»)
(Россия, Москва, e-mail: ChernyshovMV2@str.mos.ru)

SPIN: 5569-3057
AuthorID: 761852

ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна
кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии, картографии
и геоинформатики
Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)

Аннотация. Рассматриваются наномодифицированные бетоны. В качестве нанодобавки используются специально синтезированные углеродные нанотрубки. Синтез многослойных нанотрубок произведен на никелевом катализаторе при температуре 550 °С. Помол осуществляется в ацетоне. После помола длина нанотрубок варьируется в пределах от нескольких десятков до нескольких сот нанометров. С применением нанотрубок в сочетании с глицерином готовились пасты, с содержанием нанодобавки в количестве 15 массовых %. При изготовлении образцов содержание добавки принималось в количествах 0,01 и 0,05 % Составы изготавливались равноподвижными. Физико-механическими испытаниями вывлена прочность и плотность образцов из наномодифицированных и бездобавочных бетонов. В результате проведенных испытаний установлено повышение прочности при сжатии бетона с нанодобавкой до 30 %. Предложено с целью повышения эффективности наномодифицирования использование углеродных нанотрубок в качестве добавок в порошково-активированных бетонах.

Ключевые слова: бетон, наномодификация, углеродные нанотрубки, технология получения, прочность, плотность, бетоны нового поколения, строительные материалы

Для цитирования: Наномодифицирование бетона многослойными углеродными нанотрубками, синтезированными каталитическим пиролизом на пленочных катализаторах / А.В. Крючков, М.В. Крючков, Р.Ю. Юсифов, М.В. Чернышов, И.В. Ерофеева // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 47-53. doi:10.51608/26867818_2022_3_47.



Original article

**NANOMODIFICATION OF CONCRETE WITH MULTILAYER CARBON NANOTUBES
SYNTHESIZED BY CATALYTIC PYROLYSIS ON FILM CATALYSTS**

© The Author(s) 2022

KRYUCHKOV Viktor Alekseevich

Senior Researcher

*Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences
(Russia, Moscow, e-mail: kruchkov06@mail.ru)*

KRYUCHKOV Maxim Viktorovich

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
of the Department of Gas Chemistry

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research
University)
(Russia, Moscow, e-mail: mail-mk@mail.ru)*

YUSIFOV Rauf Yusifovich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory

*State Budgetary Institution of the City of Moscow "Center for Expertise,
Research and Testing in Construction"*

(Russia, Moscow, e-mail: YusifovRYu@str.mos.ru)

CHERNYSHOV Mikhail Viktorovich

Leading engineer of the laboratory

*State Budgetary Institution of the City of Moscow "Center for Expertise,
Research and Testing in Construction"*

(Russia, Moscow, e-mail: ChernyshovMV2@str.mos.ru)

EROFEEVA Irina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

of the Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics

*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru)*

Annotation. Nanomodified concretes are reviewed in this paper. Specially synthesized carbon nanotubes are used as a nano-additives. The synthesis of multilayer nanotubes was carried out on a nickel catalyst at a temperature of 550° C. The grinding is carried out in acetone. After grinding, the length of the nanotubes varies from several tens to several hundred nanometers. With the use of nanotubes in combination with glycerin, pastes were prepared with a nano-additive content in the amount of 15 mass %. In the manufacture of samples, the content of the additive was taken in quantities of 0.01 and 0.05%. The compositions were made equally mobile. The strength and density of samples from nanomodified and additive-free concretes were determined by physical and mechanical tests. As a result of the tests carried out, an increase in the compressive strength of concrete with a nano-additive was found to be up to 30%. It is proposed to use carbon nanotubes as additives in powder-activated concretes in order to increase the efficiency of nanomodification.

Keywords: concrete, nanomodification, carbon nanotubes, production technology, strength, density, new generation concretes

For citation: Nanomodification of concrete with multilayer carbon nanotubes synthesized by catalytic pyrolysis on film catalysts / V.A. Kryuchkov, M.V. Kryuchkov, R.Y. Yusifov, M.V. Chernyshov, I.V. Erofeeva // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 47-53. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_47.

Введение

Создание наукоемких и высоких технологий возможно только с использованием последних достижений химии, физики и других фундаментальных наук. В настоящее время мир переходит от гигантомании к освоению ничтожно малых молекул и ато-

мов, из которых состоит все вокруг. Частицы, которым пророчат будущее, называют наночастицами, а наука, их изучающая, – нанотехнологией. Наноразмерными принято считать частицы, размеры которых хотя бы в одном измерении составляют величину менее 100 нм нанометров (НМ).



В странах с развитой наукой и экономикой исследования в области нанотехнологий объявлены высшим национальным приоритетом.

Производство строительных материалов нового поколения – одна из многообещающих сфер применения нанотехнологий.

Перспективы исследований и внедрения нанотехнологий в области строительных материалов намечены в «Дорожной карте в строительстве» на период до 2025 г., утвержденной учеными всего мира [1]. Однако, применение нанотехнологий в строительстве находится пока еще в стадии развития. Но уже сегодня на мировом рынке имеются сотни строительных материалов нового поколения: композиционные материалы, арматурные стали, нанопленки, самоочищающиеся и износостойкие покрытия, паропроницаемые и гибкие стекла и т.д. [2].

В строительстве перспективным и массовым направлением является производство бетона и железобетона. В настоящее время в производство бетонных и железобетонных изделий широко внедряются технологии бетонов нового поколения, как высокопрочных, так и традиционных, обязательным компонентом которых являются модифицирующие добавки различного функционального назначения [3-9].

Свойства бетона определяются его структурой. Если раньше говорили о макро-, мезо-, и микро-структуре, то теперь рассматривается наноструктура бетона [3, 10-14]. Нанотехнологии в полной мере способствуют получению бетонов нового поколения.

Основным материалом нанотехнологий является углерод. Синтез углеродных нанотрубок освоен в промышленных масштабах за рубежом, значительное их количество производится также в России [15-16]. Открытие углеродной нанотрубки положило начало новому поколению сверхпрочных и легких строительных материалов [2, 17-20]. Нанотрубки на два порядка прочнее стали и примерно в 6 раз легче нее.

Наномодифицирование бетона углеродными нанотрубками привлекает внимание многочисленных исследователей. Установлено, что нанотрубки в цементных системах работают как центры кристаллизации, изменяют направление и регулируют скорость физико-химических процессов в твердеющих материалах, обеспечивают снижение внутренних напряжений. Наномодифицирование позволяет улучшить процесс структурирования вяжущих матриц с образованием более плотных и мелкозернистых кристаллогидратных фаз вблизи поверхности нанотрубок, что приводит к повышению механических свойств бетона [15]. Очевидно, что наибольший эффект от введения модификаторов можно ожидать

при их однородном распределении в композите, которое достигается только при совмещении нанотрубок с жидкой фазой композита на начальном этапе.

Наиболее часто для модифицирования бетонов используют многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ). Их получают в основном каталитическим пиролизом углеводородов. Они значительно дешевле однослойных нанотрубок, что увеличивает их рыночную доступность для широкого применения. Технология синтеза подобных МУНТ подробно описана в работе [21]. По данной технологии в основном получают двухслойные МУНТ. Для синтеза МУНТ используется полочный реактор, который широко распространен в промышленном синтезе многих химических продуктов. Использование данной технологии позволяет снизить стоимость МУНТ минимум на порядок. В этой связи являются актуальными исследования по отработке технологии получения нанодобавки и установление ее влияния на прочностные свойства бетона. Также существует необходимость использования специальных носителей наночастиц-паст.

Целью данной работы является апробация МУНТ, полученных каталитическим пиролизом бытового пропан-бутанового газа на пленочных катализаторах в составах бетонных смесей.

Задачи исследований:

1. Осуществить синтез углеродных нанотрубок каталитическим пиролизом на пленочных катализаторах для наномодифицирования бетонов.
2. После очистки, функционализации и измельчения получить углеродные трубки требуемых размеров.
3. Подготовить композиции – пасты, содержащие углеродные нанотрубки, эффективные для качественного объединения модификатора с бетонной смесью.
4. Подготовить образцы и провести испытания с целью определения влияния углеродных нанотрубок на прочность бетонов.

Материалы и методы

В полученной пасте, которая использовалась для наномодифицирования бетона, содержалось 15 % масс. МУНТ. Ультразвуковая обработка пасты не проводилась. В то же время известно, что действие ультразвуковой обработки благоприятно сказывается на диспергируемость углеродных нанотрубок в объеме строительного композита [22]. В этом случае образцы из наномодифицированного бетона быстрее набирали прочность (на 30–40 %) и в проектном возрасте имеют прочность на 20–25 % больше чем образцы без добавок.

Для проведения исследований из растворной смеси были изготовлены две серии образцов-кубов:

контрольные без добавочные и с добавлением пасты с МУНТ (рис. 1), которые твердели 28 суток в камере нормально-влажностного твердения при температуре плюс 20 °С и относительной влажности 100 %.



Рис. 1. Образцы-кубы из бетонной смеси в металлических формах

Специалистами ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве» были проведены лабораторные испытания. Затвердевшие образцы, испытывали на сжатие на прессе CONTROLS 50-C46V (рис. 2).



Рис. 2. Испытание бетонных образцов-кубов на прочность при сжатии

Результаты исследований и их анализ

Синтез МУНТ проводили на никелевом катализаторе при температуре 550 °С. Был получен выход МУНТ на грамм катализатора (Ni) 500 грамм. Конверсия достигала 58 % в начале процесса и 56,7 % в конце. После очистки продукта от катализатора в растворе соляной кислоты и функционализации в соответствии с работой [16] МУНТ подвергали тщательному помолу в ацетоне. На рис. 3 представлены микрофотографии исходных МУНТ и МУНТ после помола.

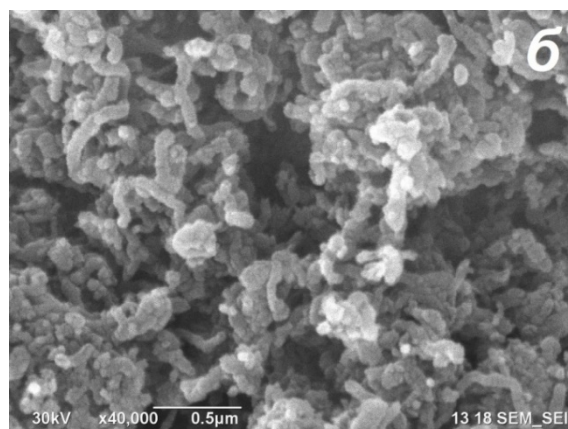
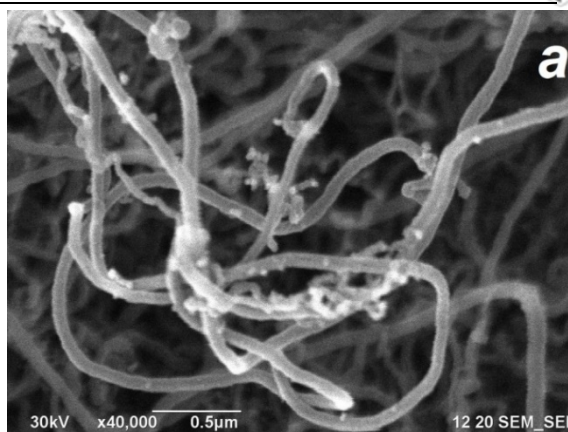


Рис. 3. Микрофотографии МУНТ: СЭМ до помола (а) и после помола (б)

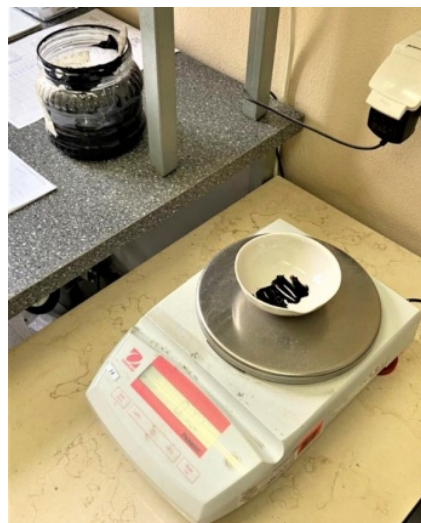


Рис. 4. Паста для наномодифицирования бетона

Диаметр получаемых нанотрубок определяется размером катализаторных частиц никеля и его можно регулировать. Для проведения опытов были изготовлены нанотрубки со средним диаметром МУНТ 86 нм. Выбор относительно большого диаметра МУНТ сделан из-за способности таких нанотрубок качественно пропитываться водными растворами солей металлов и других соединений [23].



Длину исходных нанотрубок сложно определить. При таких больших выходах МУНТ на грамм катализатора она может достигать несколько сантиметров. После помола длина нанотрубок варьировалась в пределах от нескольких десятков до нескольких сот нанометров. В нашем случае после помола в суспензию МУНТ в ацетоне добавлялся глицерин и осуществлялось тщательное перемешивание смеси на лопастной мешалке (750 об./мин.) в течение 30 ми-

нут. Ацетон затем из смеси выпаривался сушкой при 115 °С в течение 8 часов. На рис. 4 показана полученная паста.

Результаты проведенных испытаний исследуемых бетонов приведены в табл. 1 и на рис. 5.

На рис. 5 разметка эллипсов 1, 2, 3 соответствует номерам партиям испытуемых образцов. Результаты испытаний указывает на улучшение прочностных характеристик бетона: максимальный при-

Таблица 1 – Результаты испытаний трех партий образцов, изготовленных из бетонных смесей наномодифицированных составов и бетонной смеси контрольных образцов

№ п/п	Наименование состава	Расход материалов на 1 м ³ смеси					В/Ц	Подвижность, ОК	Средняя плотность и прочность при сжатии в возрасте 28 сут. при нормальном твердении		Фактический класс бетона
		Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, л	Паста с МУНТ, %			кг/м ³	МПа	
Изготовлены 30.08.2021											
1	Контрольный	350	780	1020	225	-	0,64	≈ПЗ	2319	27,5	V _ф 22,3
2	Нанобетон - 0,01	350	780	1020	225	0,01	0,64	≈ПЗ	2311	27,3	V _ф 21,8
3	Нанобетон - 0,05	350	780	1020	225	0,05	0,64	≈ПЗ	2316	28,2	V _ф 22,6
Изготовлены 29.09.2021											
1	Контрольный	360	780	1020	230	-	0,64	≈ПЗ	2367	27,0	V _ф 21,6
2	Нанобетон - 0,1	360	780	1020	230	0,1	0,64	≈ПЗ	2372	30,4	V _ф 24,3
3	Нанобетон - 0,5	360	780	1020	230	0,5	0,64	≈П2	2357	34,1	V _ф 27,3
4	Нанобетон - 1,0	360	780	1020	230	1,0	0,64	≈П2	2359	35,1	V _ф 28,1
Изготовлены 08.11.2021											
1	Контрольный	360	780	1020	230	-	0,64	≈П2	2345	26,8	V _ф 21,4
2	Нанобетон – 3,0	360	780	1020	230	3,0	0,64	≈П2	2385	32,8	V _ф 26,2
3	Нанобетон – 5,0	360	780	1020	230	5,0	0,64	≈П2	2369	30,2	V _ф 24,2

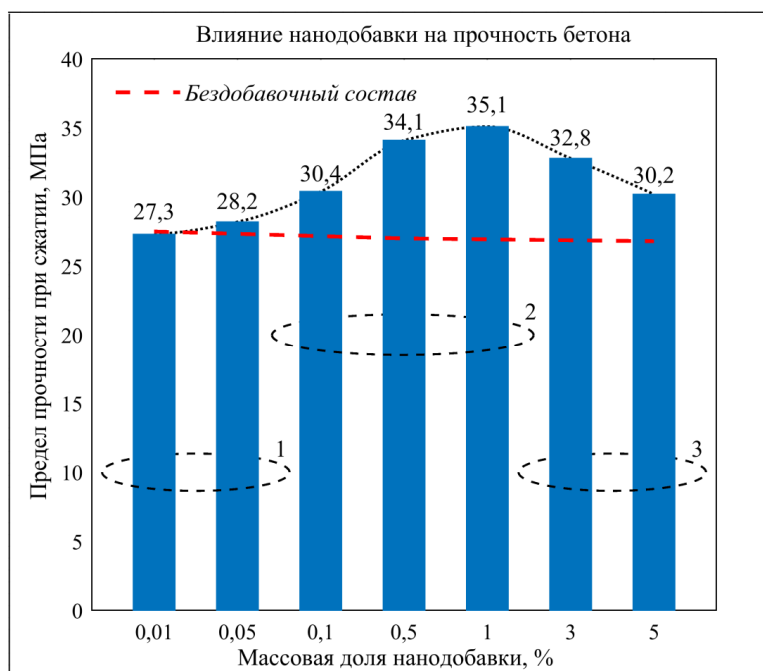


Рис. 5. Зависимость прочности бетонных образцов-кубов при сжатии от массовой доли пасты с МУНТ

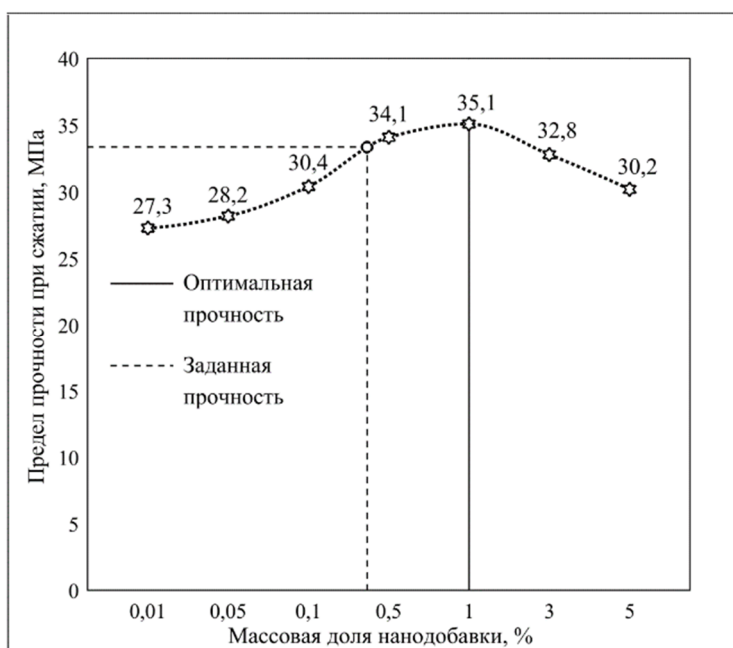


Рис. 6. Определение субоптимальной (заданной) прочности

рост прочности при сжатии в 30 % достигается при массовой доле пасты 0,8–1,0 %. При этом массовая доля МУНТ в добавке нанобетонов колеблется в пределах от 0,12 % до 0,15 %.

В продолжение возможного анализа проведенных испытаний можно предложить провести интерполяцию данных, представленных на рис. 5. Это позволит определять практически любой уровень прочности с определением массовой доли нанодобавки в процентах. Пример такого задания субоптимальной прочности показан на рис. 6.

Выводы

1. Осуществлен синтез многослойных углеродных нанотрубок на никелевом катализаторе при температуре 550 °С. Получен выход МУНТ на грамм катализатора (Ni) ~ 500 г. Представлены микрофотографии МУНТ до и после помола. Получены нанотрубки с диаметром 86 нм и длиной от нескольких десятков до нескольких сот нанометров.

2. Изготовлены смеси – «пасты» путем объединения полученных МУНТ с композицией на основе глицерина и ацетона с содержанием МУНТ от 0,12 до 0,15 %.

3. Изготовлены и испытаны на прочность образцы наномодифицированных бетонов. Установлено повышение прочности наномодифицированных составов на более чем 30 % по сравнению с бездобавочными составами.

4. Указана возможность поиска субоптимальных значений прочности образцов на основе интерполирования экспериментальных данных.

Библиографический список

1. 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. № 10–11 (694–695). С. 120.
2. Касымова С. С. Нанотехнологии в строительстве и архитектуре XXI века [обзор] / С. С. Касымова, А. С. Куртаев, А. А. Тулаганов. – Бухара: Sadridin Salim Buxoriy Durdona nashriyti, 2017. 372 с.
3. Баженов Ю. М. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии / Ю. М. Баженов, В. Р. Фаликман // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. - М., 2001. С. 91-101.
4. Лесовик В. С., Строкова В. В. О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 18-20.
5. Sanchez F. Sobolev K. Nanotechnology in concrete – a review // Construction and Building Materials. 2010. No 24 (11). P. 2060-2071.
6. Abu Al-Rub R. K. Ashour A. I. Tyson B. M. On the aspect ratio effect of multi walled carbon nanotube reinforcements in the mechanical properties of cementitious nanocomposites // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 35. Pp. 647-655.
7. Чернышов Е. М., Артамонова О. В., Коротких Д. Н. Синтез наноразмерных частиц для модифицирования структуры цементного камня и др. // Научные исследования наносистем и ресурсосберегающие технологии в строительной индустрии: Сб. докладов Межд. научно-практ. конф. - Белгород, 2007. С. 302-305.
8. Коротких Д. Н., Артамонова О. В., Чернышов Е. М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных бетонов // Научный Интернет-журнал «Нанотехнологии в строительстве». 2009. № 2. С. 42-49.



9. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего. - М.: Эксмо, 2009. 136 с.
10. Калашников В. И., Ерофеев В. Т., Мороз М. Н., Троянов И. Ю., Володин В. М., Суздальцев О. В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88-91.
11. Король Е. А. Использование нанотехнологий в строительстве и производстве строительных материалов // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 2 (109). С. 58-59.
12. Ушеров-Маршак А. В. Современный бетон и его технологии // Бетон и железобетон. 2009. С. 20-25.
13. Баженов Ю. М., Фаликман В. Р., Булгаков Б. И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов. // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С.125-133.
14. Кузьмина В. П. Нанобетоны в строительстве // Научный Интернет журнал «Нанотехнологии в строительстве». 2012. № 5. С. 64-77.
15. Llina Kondofesky-Mintova. Fundamental Interactions between Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT), Ca²⁺ and Polycarboxilate Superplasticizers in Cementitious System. Llina Kondofesky-Mintova, Johann Plank. // Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Proceedings Tenth International Conference Prague, Czech Republic, October 2012, pp. 423-434.
16. Получение полимерных нанокомпозитов с использованием гранулированных многослойных углеродных нанотрубок / Крючков В. А., Крючков М. В., Выморков Н. В., Портнова Я. М., Бушанский Н. В., Бушанский С. Н. // Композиты и наноструктуры. Т. 6. №4. 2014. С. 223-229.
17. Юдович М. Е., Понамарёв А. Н. Наномодификация пластификаторов. Регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов // Стройпрофиль. 2007. № 6. С. 49-51.
18. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками / Яковлев Г. И., Первшин Г. Н., Корженко А. [и др.] // Строительные материалы. 2011. № 2. С.47.
19. Дьячков П. Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 293 с.
20. Qiaohuan Cheng Beng Meng. Dispersion of Single-Walled Carbon Nanotubes in Organic Solvents. Dublin, 2010. 176 p.
21. Кац Е.А. Углеродные нанотрубки – фантастика наяву. Часть 2. История открытия углеродных нанотрубок // Энергия: экон., техн., экология. 2008. № 4. С. 32-36.
22. Габидуллин М. Г., Хузин А. Ф., Рахимов Р. З., Ткачёв А. Г., Михалёва З. А., Толчков Ю. Н. Ультразвуковая обработка – эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита // Строительные материалы. 2013. №3. С. 57-59.
23. Никельсодержащие катализаторы разложения метана на основе структурированных носителей / М. А. Губанов, М. И. Иванцов, М. В. Куликова [и др.] // Нефтехимия. 2020. Т. 60. № 5. С. 654-662.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 12.06.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 12.06.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



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_3_54

ОБЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ «ВЫСОТНЫЙ ОБЪЕКТ – НЕЛИНЕЙНОЕ ОСНОВАНИЕ»

© 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.

(Россия, Саратов, e-mail: galamurta@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается общая устойчивость высотного объекта на физически нелинейном основании. Высотные здания, как и все объекты с высоко расположенным центром сил тяжести, склонны к потере устойчивости исходного вертикального положения равновесия. В практике проектирования высотных зданий используются различные критерии оценки общей устойчивости. В статье устойчивость исходного состояния равновесия рассматривается с позиций нелинейной строительной механики как задача устойчивости нелинейной системы «высотный объект – грунтовое основание», представленной в форме линеаризованных уравнений устойчивости.

Ключевые слова: объект с высоко расположенным центром тяжести, физически нелинейное основание, инкрементальная теория, уравнения устойчивости, строительная механика

Для цитирования: Муртазина Г.Р. Общая устойчивость системы «высотный объект – нелинейное основание» // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 54-58. doi:10.51608/26867818_2022_3_54.

Original article

OVERALL SYSTEM STABILITY «HIGH-RISE BUILDING - NON-LINEAR FOUNDATION»

© The Author(s) 2022

MURTAZINA Gulsem Rasimovna

assistant of the department Chair of Building Materials, Structures and Technologies

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

(Russia, Saratov, e-mail: galamurta@mail.ru)

Annotation. The article studies general stability of a high-rise building on a physically non-linear foundation. High-rise buildings, like all objects with a high center of gravity, are prone to loss of stability of the initial vertical equilibrium position. Various criteria for assessing the overall stability are used for designing high-rise buildings. In this article we consider stability of the initial state of equilibrium from the standpoint of nonlinear structural mechanics as a problem of stability within the nonlinear system “high-rise building - earth foundation” presented in the form of linearized stability equations.

Keywords: object with high center of gravity, physically non-linear foundation, incremental theory, stability equations

For citation: Murtazina G.R. Overall system stability «high-rise building - non-linear foundation» // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 54-58. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_54.

Введение (Introduction)

Проблема устойчивости равновесия конструктивных нелинейных систем с высоко расположенным центром сил тяжести представляет собой отдельный специфический класс задач. Это задачи расчета устойчивости равновесия высотных зданий или, используя сложившуюся в среде проектировщиков терминологию, устойчивости положения высотного здания, в том числе и устойчивости против опроки-

дывания здания. Построение расчетной модели этой задачи нелинейной строительной механики обусловлено нормативными документами. Так, в соответствии п.В.9 СП 63.13330.2018 [Н.12] в процессе расчета устойчивости положения, конструкции высотной части здания принимаются как твердотельный объект, при этом деформациями отдельных элементов и частей здания можно пренебречь [9]. В практике проектирования иногда, так же принима-



ется абсолютно жёстким и основание. Такой подход, в частности, позволяет достаточно просто определить коэффициент устойчивости положения высотного здания $k = M_{уд} / M_{опр}$, как отношение удерживающего момента $M_{уд}$ к опрокидывающему моменту $M_{опр}$ относительно края фундаментной конструкции, как ребра возможного опрокидывания S_0 .

Возможности современных компьютерных расчетных программных средств позволяют частично учесть деформируемость надземной части здания, оценив горизонтальные перемещения точек вертикальной оси здания, в которые приложена равнодействующая вертикальных сил тяжести. Учет этих перемещений позволяет уточнить «плечо» равнодействующей вертикальных сил тяжести при вычислении удерживающего момента $M_{уд}$. Известно, что получаемый при этом коэффициент устойчивости положения k далек от значения, получаемого при использовании более сложных моделей и имеет значение не в «запас» устойчивости здания. Более сложные модели нелинейной строительной механики, описывающие задачу устойчивости системы «высотный объект – основание», в том числе и задачу устойчивости против опрокидывания здания, получают, учитывая бифуркационную устойчивость идеализированного высотного объекта на физически нелинейном грунтовом основании. При учете ветрового давления при расчете реального высотного объекта, бифуркационная критическая нагрузка для идеализированного высотного объекта трансформируется в предельную нагрузку реального высотного объекта, которая в практике проектирования так же называется критической. Таким образом, задачи бифуркационной устойчивости идеализированных систем имеют прямое отношение к проблемам устойчивости реальных высотных [9].

Актуальность исследования для высотных зданий (Relevance of the study for high-rise buildings)

Высотные здания, как и все объекты с центром тяжести расположенным высоко, склонны к потере устойчивости исходного вертикального положения равновесия. Это характерно для высотных зданий башенного типа. Одним из конструктивных решений для таких зданий является ствольная несущая система здания [6]. Расчетная схема общей устойчивости ствольного ядра жесткости для таких зданий представляется в виде консольной стойки нагруженной вертикальной распределенной нагрузкой. Общая устойчивость в данном случае является одной из разновидностей многочисленных задач устойчивости и может быть представлена в виде двух задач.

Одна из этих задач, это устойчивость прямолинейной формы равновесия вертикальной оси несущей системы высотной части здания. Эта задача

устойчивости должна рассматриваться с учетом деформирования несущей конструкции высотной части здания. Проблемы проектирования таких высотных зданий рассмотрены в [1-2]. В этом случае, например, интересной является возможность линейного анализа устойчивости каркаса высотного здания на основе простых расчетных процедур, предлагаемых Американским институтом стальных конструкций (AISC) [3].

Другая задача общей устойчивости высотного объекта связана с деформационными процессами, происходящими в грунтовом основании. В этом случае надземная часть несущей системы в виде ствольного ядра жесткости высотного здания башенного типа может рассматриваться как твердотельный объект. Деформационные процессы в основании высотного объекта могут быть рассмотрены с различных позиций.

Так с позиций геотехники задача устойчивости рассматривается, как расчет устойчивости на базе условия Кулона и осуществляется методом снижения прочностных характеристик грунта посредством использования ПК Plaxis2D [8]. Представленный расчет рассматривается «как отдельный тип» расчета, когда параметры прочности грунта $tg\phi$ и c последовательно уменьшаются до тех пор, пока не произойдет разрушение [4].

Как отмечается в [4] «Коэффициент надежности представляет собой отношение имеющегося сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, необходимому для обеспечения равновесия». Устойчивость в этом случае отождествляется с коэффициентом надежности, представляющим собой отношение имеющегося сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, необходимому для обеспечения равновесия.

Другой подход к проблеме устойчивости основан на рекомендации СП 63.13330.2018 Приложение В о методах расчета устойчивости рекомендуется: «В.13 Расчет конструктивных систем производят методами строительной механики.» [8]. В этом случае устойчивость исходного состояния равновесия рассматривается с позиций нелинейной строительной механики как задача устойчивости нелинейной системы «высотный объект – грунтовое основание» [7], представленной в форме линеаризованных уравнений устойчивости.

Метод (Methods)

Одним из основных методов решения нелинейных задач устойчивости является метод линеаризации нелинейных соотношений. Задача устойчивости нелинейной системы «высотный объект – грунтовое основание» может содержать три вида нелинейности [8]. Это статическая нелинейность задачи устойчивости, физическая нелинейность основания



и нелинейность, вызываемая воздействиями на грунт основания техногенного характера.

Линеаризованная задача формируется относительно искомых функций, представленных их приращениями [9], при этом нагружение системы производится по шагам, увеличивающим параметр нагрузки на величину его приращения:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda_c \theta + 2\mu_c \varepsilon_x; & \tau_{xy} &= \mu_c \gamma_{xy} \\ \sigma_y &= \lambda_c \theta + 2\mu_c \varepsilon_y; & \tau_{yz} &= \mu_c \gamma_{yz} \\ \sigma_z &= \lambda_c \theta + 2\mu_c \varepsilon_z; & \tau_{zx} &= \mu_c \gamma_{zx} \end{aligned} \quad (1)$$

На основе процедуры линеаризации записываются как линеаризованные физические соотношения с переменными коэффициентами [5]

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_x &= (\lambda_c \Delta \theta + 2\mu_c \Delta \varepsilon_x) + (\Delta \lambda_c \theta + 2\Delta \mu_c \varepsilon_x) \\ \Delta \sigma_y &= (\lambda_c \Delta \theta + 2\mu_c \Delta \varepsilon_y) + (\Delta \lambda_c \theta + 2\Delta \mu_c \varepsilon_y) \\ \Delta \sigma_z &= (\lambda_c \Delta \theta + 2\mu_c \Delta \varepsilon_z) + (\Delta \lambda_c \theta + 2\Delta \mu_c \varepsilon_z) \\ \Delta \tau_{xy} &= \mu_c \Delta \gamma_{xy} + \Delta \mu_c \gamma_{xy} \\ \Delta \tau_{yz} &= \mu_c \Delta \gamma_{yz} + \Delta \mu_c \gamma_{yz} \\ \Delta \tau_{zx} &= \mu_c \Delta \gamma_{zx} + \Delta \mu_c \gamma_{zx} \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь: $\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$;

$$\lambda_c = \frac{E_c \nu_c}{(1-2\nu_c)(1+\nu_c)}; \quad \mu_c = \frac{E_c}{2(1+\nu_c)};$$

$$\nu_c = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{E_c}{E} (1-2\nu_0) \right)$$

$E_c = \sigma_i / \varepsilon_i$ – секущий модуль диаграммы деформирования; σ_i – интенсивность напряжений, ε_i – интенсивность деформаций. Для нелинейно-деформируемого материала, E и ν_0 – начальный модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Уравнения являются линейными относительно приращений деформаций [6]. Приращения $\Delta \lambda_c$, $\Delta \mu_c$ образовались путём возмущения параметров λ_c , μ_c :

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_c &= \frac{d\lambda_c}{dE_c} \Delta E_c = \frac{d\lambda_c}{dE_c} (E_k - E_c) \frac{\Delta \varepsilon_i}{\varepsilon_i}; \\ \Delta \mu_c &= \frac{d\mu_c}{dE_c} \Delta E_c = \frac{d\mu_c}{dE_c} (E_k - E_c) \frac{\Delta \varepsilon_i}{\varepsilon_i}; \end{aligned} \quad (3)$$

где: $\Delta E_c = (E_k - E_c) \frac{\Delta \varepsilon_i}{\varepsilon_i}$; $E_k = d\sigma_i / d\varepsilon_i$ – касательный модуль.

Модель системы «высотный объект – грунтовое основание» в задаче устойчивости, при получении линеаризованных уравнений устойчивости строительной механики [8], должна описывать реактивный «отпор» несущего слоя основания. В этом случае, переход от точных соотношений механики деформируемого тела к соотношениям технической теории, позволяющей определить реактивный «от-

пор» несущего слоя основания, может быть получен на основе принципа возможных перемещений Лагранжа [6].

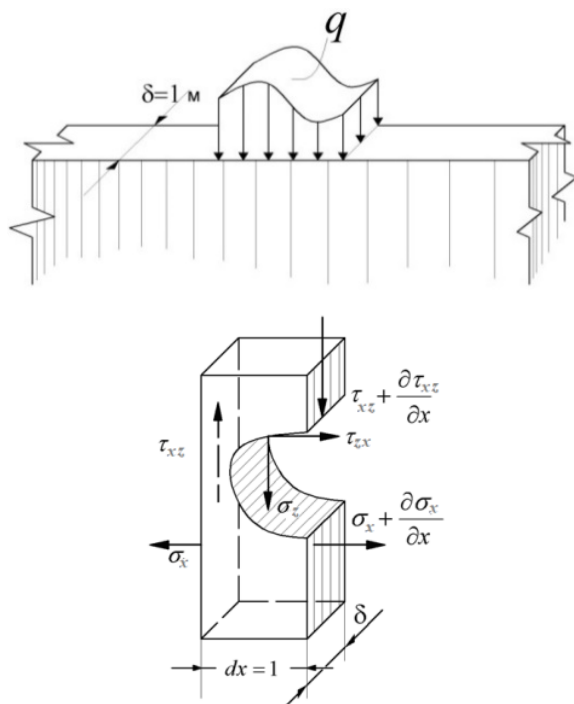


Рис. 1

Выделив простой элемент из объема грунтового основания в виде столбика-полоски шириной $dx=1$ (рис. 1), приравняем к нулю сумму работ на любом возможном перемещении всех внешних и внутренних сил приложенных к этому элементу:

$$\begin{aligned} \int_0^H \frac{\partial \Delta \tau_{zx}}{\partial x} \psi(z) dz - \int_0^H \Delta \sigma_z \psi'(z) dz + \int_0^H \frac{\partial \Delta \tau_{zy}}{\partial y} \psi(z) dz = \\ = - \int_0^H \Delta q(x, y) \psi(z) dz; \end{aligned}$$

при $(j=1,2,3,...n)$ (4)

Здесь $dF = \delta dy$ – дифференциал площади поперечного сечения пластинки, δ – толщина пластинки [7].

Результаты и обсуждение (Results and discussion)

В рамках технической теории [5] полагаем, что при нагружении несущего слоя основания, приложенным на его поверхности давлением q , можно пренебречь влиянием горизонтальных перемещений, принимая $u = v = 0$. Принятые допущения позволяют представить:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= 0; & \varepsilon_y &= 0; & \gamma_{xy} &= 0; \\ \Delta \varepsilon_x &= 0; & \Delta \varepsilon_y &= 0; & \Delta \gamma_{xy} &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

Основание представляется слоем толщиной h , расположенным на жестком подстилающем слое (рис. 2). Этот слой можно назвать несущим слоем.

Приращение вертикальных перемещений [8] $\Delta w(z)$ будет:

$$\Delta w(z) = \Delta W \left(1 - \frac{z}{h}\right); \quad (6)$$

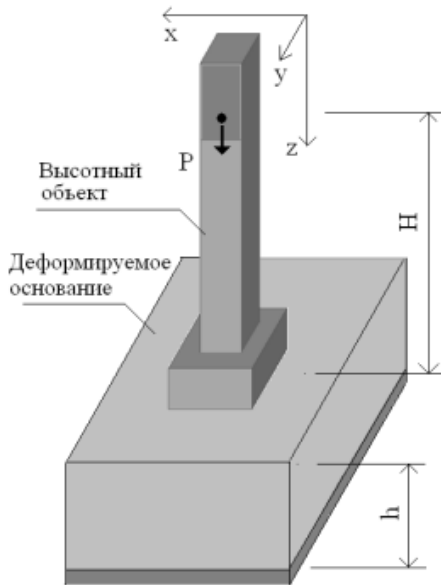


Рис. 2

В качестве диаграммы деформирования физически нелинейной среды основания примем экспоненциальный закон:

$$\sigma_i = \alpha \left(1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{\beta}\right)\right) + \gamma \varepsilon_i;$$

$$\Delta W = \frac{\Delta P}{F} \frac{h}{E_k (\lambda_1 + 2\mu_1)};$$

$$E_k = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = \frac{\alpha}{\beta} \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{\beta}\right) + \gamma \quad (7)$$

Тогда приращения нормальных напряжений будут иметь вид:

$$\Delta \sigma_z = E_k (\lambda_1 + 2\mu_1) \Delta \varepsilon_z = E_k (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\Delta W}{h};$$

$$\Delta \sigma_x = \Delta \sigma_y = E_k \lambda_1 \Delta \varepsilon_z = E_k \lambda_1 \frac{\Delta W}{h};$$

$$\lambda_1 = \frac{\nu_c}{(1-2\nu_c)(1+\nu_c)}; \mu_1 = \frac{1}{2(1+\nu_c)};$$

$$\nu_c = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{E_c}{E_0} (1-2\nu_0)\right); \quad (8)$$

Реактивный «отпор» слоя грунтового основания под фундаментной плитой высотного объекта [8] уравновешивает приложенное на поверхности несущего слоя основания давление подошвы фундаментной плиты q . Критическое давление высотного объекта $q_{кр}$ (рис. 2) на поверхности несущего слоя опре-

деляется из уравнений возмущенного состояния равновесия высотного объекта и зависит от жесткости физически нелинейного слоя основания [9]:

$$q_{кр} = \frac{kL^2}{12H}; \quad k = \int_0^h (\lambda_1 + 2\mu_1) E_k (\psi')^2 dF \quad (9)$$

Представим результаты расчета общей устойчивости высотного объекта при следующих значениях параметров:

- коэффициенты диаграммы деформирования основания и коэффициент Пуассона в упругой области деформирования $\alpha = 0.8$; $\beta = 0.01$; $\gamma = 0.1$; $\nu_0 = 0.4$;
- начальное значение модуля деформации основания $E_k = 70$ МПа;
- размер квадратного в плане фундамента высотного объекта $L = 18$ м;
- высота центра сил тяжести высотного объекта $H = 120$ м;
- мощность несущего слоя $h = 15$ м.

На рис. 3 приведены графики зависимости q (W/h) и $q_{кр}$ (W/h).

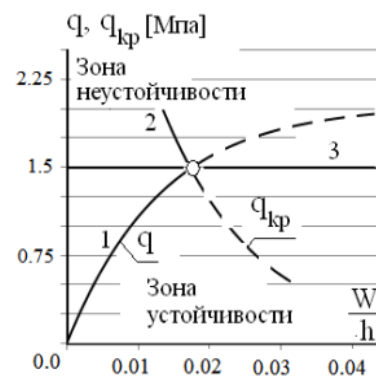


Рис. 3

График 1 показывает траекторию нагружения поверхности несущего слоя основания давлением от веса высотного объекта, график 2 – решение задачи бифуркационной устойчивости процесса нагружения физически нелинейного основания. Точка пересечения графиков 1 и 2 является точкой бифуркации исходного процесса деформирования основания в системе «высотный объект – грунтовое основание». График 3 показывает зону общей устойчивости высотного объекта.

Вывод (Conclusions)

Таким образом, для нелинейной задачи устойчивости высотного объекта на деформируемом физически нелинейном основании, рассматриваемом как система «высотный объект – грунтовое основание» с позиций бифуркационного подхода найдена критическая нагрузка, при которой исходное вертикальное состояние равновесия теряет устойчивость. Процесс дальнейшего деформирования основания относится к закритическому поведе-



нию системы, характеризующемуся развитием деформаций крена высотного объекта [9].

Библиографический список

1. Lago A., Trabucco D., Wood A. Damping technologies for tall buildings. Butterworth-Heinemann, 2018. 1124 p.
2. El-Reedy M. Onshore structural design calculations. 1st ed. Butterworth-Heinemann, 2016. 456 p. 24. Ratner L.W. Non-linear theory of elasticity and optimal design. 1st ed. Elsevier Science, 2003. 279 p.
3. AISC – 88, Specification for structural steel buildings / American Institute of Steel Construction, - Chicago, Illinois: AISC, 1988.
4. phi c reduction plaxis.
5. Петров, В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В. В. Петров. – Москва : Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с. – ISBN 978-5-9729-0076-3. – EDN SFTTJV.
6. Иноземцев, В. К. Общая устойчивость и деформации высотных зданий и сооружений: учеб. пособие / Иноземцев В. К., Редков В. И. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2015. 362 с.
7. Иноземцев, В. К. Общая устойчивость высотных зданий и сооружений : учебное пособие для студентов бакалавриата и магистратуры по направления "Строительство" и "Архитектура" и студентов специальностей "Промышленное и гражданское строительство", "Строительство уникальных зданий и сооружений" / В. К. Иноземцев, О. В. Иноземцева ; В. К. Иноземцев, О. В. Иноземцева ; М-во образования и науки Российской Федерации, Саратовский гос. технический ун-т. – Саратов : Саратовский гос. технический ун-т, 2011. – ISBN 978-5-7433-2419-4. – EDN QNPUEV.
8. Иноземцева, О. В. Критерии устойчивости против опрокидывания в практике проектирования высотных зданий / О. В. Иноземцева, В. К. Иноземцев, Г. Р. Муртазина // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 2(11). – С. 9-23. – DOI 10.51608/26867818_2021_2_9. – EDN AQDLZN.
9. Иноземцева, О. В. Устойчивость против опрокидывания в практике проектирования высотных зданий / О. В. Иноземцева, В. К. Иноземцев, Г. Р. Муртазина // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2021. – Т. 17. – № 3. – С. 228-247. – DOI 10.22363/1815-5235-2021-17-3-228-247. – EDN CHSWNA.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.07.2022; одобрена после рецензирования 21.07.2022; принята к публикации 21.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 07.07.2022; approved after reviewing 21.07.2022; accepted for publication 21.07.2022.



Научная статья

УДК 691.54

ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия

ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2022_3_59

ГИБРИДНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

© Авторы 2022

SPIN: 7849-4903

AuthorID: 724151

ORCID: 0000-0002-7220-1851

ScopusID: 56789573200

ResearcherID: 2572159

СМИРНОВА Ольга Михайловна

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство горных предприятий и подземных сооружений»

Санкт-Петербургский горный университет

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: smirnovaolgam@rambler.ru)

SPIN: 6073-9446

AuthorID: 685153

ORCID: 0000-0002-8734-1064

ScopusID: 57205125533

ResearcherID: AAA-8677-2022

КАЗАНСКАЯ Лилия Фаатовна

доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии»

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: yalifa@inbox.ru)

Аннотация. Производство строительных материалов является отраслью, которая может вносить значительный вклад в комплексную переработку вторичных ресурсов. Работа посвящена изучению основных направлений по разработке гибридных цементов для долговечных цементирующих матриц. Изучена технология одностадийного затворения гибридных цементов. Представлены результаты влияния расхода и способа введения активатора твердения-тиосульфата натрия и суперпластификатора на водопотребность и прочностные характеристики гибридного цемента, состоящего из молотого гранулированного доменного шлака и портландцемента с соотношением 75:25. В работе изучено влияние на водопотребность смеси и прочность бетона двухкомпонентного затворения, когда активатор твердения вводился с водой и однокомпонентного затворения, когда активатор твердения вводился при помоле шлака. Результаты показали, что возможно получение равнопрочных бетонов при снижении расхода добавки с 1,6% до 1,2% за счет введения добавки при помоле шлака. Повышение прочности обусловлено снижением водопотребности смеси. Полученные результаты будут способствовать развитию производства гибридных цементов в местах образования многотоннажных побочных продуктов промышленности, например шлаков, расширению области применения гибридных цементов в транспортном, промышленном и подземном строительстве.

Ключевые слова: гибридный цемент, активатор твердения, тиосульфат натрия, суперпластификатор, долговечность бетона, морозостойкость, тепловыделение, экологическое воздействие, устойчивое развитие, строительные материалы

Основные положения:

1. Изучена технология одностадийного затворения гибридных цементов.
2. Доказано получение равнопрочных бетонов при снижении расхода добавки с 1,6% до 1,2% за счет введения добавки (смеси тиосульфата натрия и суперпластификатора) при помоле шлака.
3. Результаты способствуют развитию производства гибридных цементов в местах образования многотоннажных побочных продуктов промышленности.

Для цитирования: Смирнова О.М., Казанская Л.Ф. Гибридные цементы на основе гранулированных доменных шлаков: основные направления исследований // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 59-65. doi:10.51608/26867818_2022_3_59.



Original article

HYBRID CEMENTS BASED ON GRANULATED DOMAIN SLAGS: MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH

© The Author(s) 2022

SMIRNOVA Olga Mikhailovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Construction of Mining enterprises and underground structures"
Saint-Petersburg Mining University
(Russia, Saint-Petersburg, e-mail: smirnovaolgam@rambler.ru)

KAZANSKAYA Lilia Faatovna

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Building Materials and Technologies"
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(Russia, Saint-Petersburg, e-mail: yalifa@inbox.ru)

Annotation. The production of building materials is an industry that can contribute significantly to the integrated processing of recycling. The work is devoted to the study of the main directions for the development of hybrid cement for long-term cementing matrices. The technology of single-stage mixing of hybrid cements has been studied. Authors present the results of the consumption and method of introduction of sodium hardness-thiosulfate activator, superplasticizer influence on water consumption, strength characteristics of hybrid cement consisting of ground granular blast furnace slag and Portland cement with a ratio of 75:25. The paper studied the influence of the mixture on the water consumption and the strength of concrete of the two-component concretion, when the hardening activator was injected with water and one-component shutting and when the hardening activator was injected at grinding of the slag. The results showed that it is possible to obtain equally strong concrete while reducing the additive consumption from 1.6% to 1.2% and introducing an additive when grinding the slag. Increased strength can contribute to reduced water consumption of the mixture. The results obtained will help the development of hybrid cement production at the sites of the formation of multi-ton by-products of industry (such as slags) and to the expansion of the use of hybrid cements in transport, industrial and underground construction.

Keywords: hybrid cement, hardening activator, sodium thiosulfate, superplasticizer, concrete durability, frost resistance, heat release, environmental impact, sustainable development, constructional materials

Highlights:

1. The technology of single-stage sealing of hybrid cements has been studied.
2. It has been proven to obtain equal-strength concrete with a reduction in additive consumption from 1.6% to 1.2% due to the introduction of an additive (a mixture of sodium thiosulfate and superplasticizer) during slag grinding.
3. The results contribute to the development of the production of hybrid cements in the places of formation of multi-tonnage by-products of industry.

For citation: Smirnova O.M., Kazanskaya L.F. Hybrid cements based on granulated domain slags: main directions of research // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 59-65. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_59.

Введение

Гибридные цементы состоят из компонентов, которые при гидратации образуют вещества с различным химическим и минералогическим составом, а также отличаются структурой цементного камня на разных уровнях и, соответственно, свойствами. В основном гибридные цементы представлены смесью цементов щелочной активации и портландцемента [1-3]. Вяжущие щелочной активации состоят из двух компонентов: цементирующего минерального порошка и щелочного активатора твердения. Водные растворы кальцинированной соды, сульфата натрия, гидроксида натрия, жидкого стекла и др. могут использоваться в качестве щелочного активатора [4-6].

В настоящее время исследования гибридных цементов направлены на теоретическое и практиче-

ское обоснование получения новых составов на основе многокомпонентного минерального сырья вторичных ресурсов для долговечных цементирующих матриц за счет повышения реакционной способности вяжущих, снижения их водопотребности, направленного регулирования процессов фазо- и структурообразования и их взаимосвязи с процессами определяющими внутреннюю коррозию камня [7-9]. Это приводит к повышению не только прочности, но и других физико-механических свойств, определяющих долговечность цементирующего камня с учетом условий эксплуатации [10-13].

Вопросы сохранения природных ресурсов и снижения выбросов углекислого газа за счет снижения расхода портландцементного клинкера, в том числе вопросы теоретического и практического



обоснования получения многокомпонентных цементов на основе техногенного сырья широко обсуждаются [14-16]. Создание новых вяжущих на основе минерального сырья техногенного происхождения с физическими и механическими характеристиками, обеспечивающими долговечность цементирующей матрицы приобретает особую актуальность [17-19]. Образование шлаков превышает в сотни раз объемы их использования. Это требует разработки современных технологий получения гибридных цементов с вовлечением побочных продуктов промышленности.

Гибридный цемент, гибридный щелочной цемент, активированный щелочью смешанный портландцемент – все эти термины относятся к новой группе вяжущих гидратационного твердения. Эти вяжущие состоят из цементирующего материала (минеральной добавки), портландцемента или портландцементного клинкера (в количестве менее 30%) и щелочного активатора. Гибридные цементы сочетают свойства традиционных портландцементов со свойствами вяжущих щелочной активации [1-3].

Гибридные цементы можно классифицировать в зависимости от используемого цементирующего материала. Наиболее значимыми являются гибридные цементы на основе золы-уноса, гранулированного доменного шлака и смеси различных минеральных добавок.

Мотивацией для изучения гибридного цемента на основе молотого гранулированного доменного шлака является устранение некоторых недостатков шлакопортландцемента: медленных сроков схватывания и низкой ранней прочности. Авторы работы [20] добавили щелоче-силикатную добавку в смесь портландцемента и молотого гранулированного доменного шлака, что способствовало увеличению прочности на сжатие в возрасте 1 суток и значительному снижению общей пористости. В работе [21] показано, что сроки схватывания цемента на основе смеси портландцемента и молотого гранулированного доменного шлака, могут быть уменьшены за счет добавления 4% Na_2SO_4 , что также привело к увеличению прочности на сжатие в суточном возрасте. Авторы работы [22] использовали два типа активатора твердения – гидроксид натрия (NaOH) и смесь NaOH с силикатом натрия для активации гибридных цементных паст с соотношением шлак/ПЦ 80/20. Смесь активаторов твердения обеспечивала лучшую прочность на сжатие в раннем возрасте, чем использование только NaOH . Оба состава достигли значительно более высокой прочности, чем контрольный состав шлак/ПЦ с соотношением 80/20 без активатора твердения. На прочность при сжатии гибридных цементов, активированных смесью активаторов, влияло содержание Na_2O в системе. Увеличение Na_2O приводило к увеличению прочности. С другой

стороны, образцы, активированные только NaOH , имели лишь незначительное увеличение прочности при сжатии с увеличением содержания натрия в системе.

Последние исследования посвящены гибридным цементам на основе золы-уноса. Активированная щелочью зола-уноса требует тепловой обработки для повышения ранней прочности. Небольшое количество кальция при введении небольшого количества портландцемента может решить эту проблему. Авторы работы [1] приготовили гибридные цементы с 20% портландцементного клинкера и 80% золы-уноса. Материал показал прочность на сжатие более 15 МПа в возрасте 2 суток с подходящими сроками схватывания. Вместо молотого гранулированного доменного шлака и золы-уноса гибридные цементы могут быть приготовлены из смеси различных цементирующих компонентов, которые обладают гидравлической или пуццолановой активностью, а также требуют щелочной активации. Авторы работы [23] приготовили смесь золы-уноса, метаксаолина и портландцементного клинкера и активировали ее смесью NaOH и силиката натрия. Все составы показали прочность на сжатие сопоставимую с образцами на чистом портландцементе. В качестве продуктов гидратации были идентифицированы два геля с низкой степенью полимеризации – N-A-S-H и (N,C)-A-S-H. Авторы работы [24] разработали H-цемент, который представлял собой смесь золы-уноса, молотого гранулированного доменного шлака, портландцементного клинкера и высокощелочных сточных вод из месторождения красного шлама. H-цемент показал меньшую усадку по сравнению с портландцементом, а прочность на сжатие соответствовала бетону класса прочности В30.

Категория долговечность для цементных композитов может быть раскрыта совокупностью механических и физических свойств необходимых для конкретных условий эксплуатации, а также корреляционными зависимостями свойств со структурой и составом продуктов гидратации [25-27]. Химико-минералогический и дисперсный состав вяжущего, объем пор цементной матрицы и распределение их по размерам, соотношение аморфной и кристаллической фаз продуктов гидратации, а также минералогический и морфологический состав цементирующих веществ могут быть, по мнению авторов, основными структурообразующими факторами.

Сравнение портландцемента и цементов щелочной активации показывает значительные различия в составе исходных компонентов, продуктов гидратации, структуре и в свойствах [4-5]. В отличие от портландцемента наличие кальция в составе сырья не является обязательным условием получения вяжущих щелочной активации. В связи с этим возможно использование низко- или бескальциевого



алюмосиликатного сырья. Количественное содержание кальция в диапазоне от нескольких процентов и более определяет расход щелочного компонента, состав продуктов твердения, свойства вяжущего и материала на его основе, области применения [4-6]. Искусственный каменный материал на основе активированных щелочами цементов образуется в результате деструкции алюмосиликатного стекла в щелочной среде и формирования из продуктов деструкции коагуляционной, а затем конденсационно-кристаллизационной структуры водостойких продуктов гидратации [5].

Исследования по разработке вяжущих и цементных композитов на основе шлаков направлены на обоснование выбора щелочного компонента как активатора твердения. Однако, затворение молотых шлаков жидкими растворами щелочных компонентов является значительным недостатком таких вяжущих, поскольку это усложняет технологию приготовления композитов. В связи с этим необходимо разрабатывать технологию однокомпонентного затворения гибридных цементов, т.е. готовые гибридные цементы затворяются только водой.

Эта технология может иметь научный и промышленный интерес, поскольку необходимость растворения щелочного компонента в воде затворения отсутствует. Отсюда, способ введения активатора твердения в состав гибридного цемента является другим важным направлением теоретических и практических исследований: при помоле шлака, при помоле одного из компонентов вяжущего и последующего смешивания со всем объемом вяжущего, при смешивании с вяжущим и др.

Кроме повышения активности молотых шлаков снижение водопотребности цементов является другим направлением повышения долговечности камня на их основе [9, 28-30]. Например, совместный помол портландцементного клинкера и поверхностно-активных веществ (суперпластификаторов) исследовалось достаточно широко с целью снижения водопотребности цемента [31]. Вяжущие низкой водопотребности на основе портландцемента разработаны за счет усиления действия суперпластификатора при нанесении его в виде пленок на частицы портландцемента. Действие традиционных суперпластификаторов может снижаться в случае шлакощелочных вяжущих. Однако имеется ряд минеральных добавок, которые могут улучшать удобоукладываемость бетонных смесей на шлакощелочных вяжущих при низком расходе воды затворения [6, 8]. Снижение водопотребности позволяет получить более плотный и прочный камень на основе гибридного цемента.

Изучение влияния химико-минералогического состава, тонкости помола и гранулометрического состава исходных компонентов, вида, расхода

и способа введения активатора твердения, условий твердения и других факторов на состав продуктов гидратации и формирование структуры на различных уровнях – основные вопросы продолжающихся исследований по получению долговечных бетонов на основе гибридных цементов.

Целью данного исследования является изучение влияния расхода и способа введения активатора твердения-тиосульфата натрия и суперпластификатора на водопотребность и прочностные характеристики гибридного цемента, состоящего из молотого гранулированного доменного шлака и портландцемента с соотношением 75:25.

Материалы и методы

Гранулированный доменный шлак Тульского металлургического завода был использован с химическим составом, представленном в таблице 1. Шлак можно отнести к основному по модулю основности $M_o = 1,04$. Распределение частиц шлака по размерам было получено с помощью анализатора частиц Analysette 22. Сравнивалась технология помола шлака без добавок и шлака, совместно измельченного с тиосульфатом натрия и суперпластификатором. Помол выполнялся в шаровой мельнице. Продолжительность помола шлака с добавками была сокращена на 50 минут для получения примерно одинаковой тонкости помола. Также при использовании добавок отсутствовало налипание молотого шлака на стальные шары мельницы, что вероятно способствовало сокращению продолжительности помола при достижении одинаковой тонкости помола (таблица 2).

Таблица 1. Химический состав шлака, %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
42.8	35.9	11.4	0.27	0.33	6.44	2.4

Таблица 2. Распределение частиц шлака по размерам, %

№ п/п	Технология помола	Количество частиц с размером меньше, чем, %				
		1 мкм	5 мкм	10 мкм	50 мкм	80 мкм
1	Помол шлака без добавок	5,8	24,8	36,5	87	97
2	Помол шлака с тиосульфатом натрия и суперпластификатором	6,1	27,9	39,2	89	99

Был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 для приготовления шлакопортландцемента и гибридного цемента, состоящего из молотого гранулированного доменного шлака и портландцемента с соотношением 75:25. Был использован тиосульфат натрия по ГОСТ 27068-86 «Реактивы. Натрий серноватистокислый (натрия тиосульфат) 5-водный». Тио-



сульфат натрия получают из многотоннажных отходов коксохимического производства, которые образуются при очистке коксовых газов от сероводорода.

Была приготовлена добавка из сухих компонентов: суперпластификатор на основе полинафталинметилсульфонат натрия (товарное название С-3) в количестве 45% по массе и вышеуказанный тиосульфат натрия - 55% по массе. Эта добавка была использована при помолу шлака, а также вводилась в смесь с водой затворения.

Растворы были изготовлены с соотношением цемента к песку 1:3 (Таблица 3). Песок речной с модулем крупности 1,66. Все растворные смеси были равноподвижные и имели диаметр распыла на встряхивающем столике 106-108 мм.

Таблица 3. Составы мелкозернистого бетона

№ п/п	Состав	Суперпластификатор С-3, % от массы вяжущего	Тиосульфат натрия, % от массы вяжущего	Всего добавок, % от массы вяж.	Технология введения добавки	Вода, г	В/Ц	Снижение расхода воды, В _д , %
1	ШПЦ=500г П=1500г	0	0	0	-	237	0,47	--
2	ШПЦ=500г П=1500г	0,36	0,44	0,8	С водой затворения	210	0,42	11,4
3	ШПЦ=500г П=1500г	0,54	0,66	1,2	С водой затворения	200	0,40	15,6
4	ШПЦ=500г П=1500г	0,72	0,88	1,6	С водой затворения	187	0,37	21,3
5	ШПЦ=500г П=1500г	0,54	0,66	1,2	При помолу шлака	186	0,37	21,3
6	ШПЦ=500г П=1500г	0,72	0,88	1,6	При помолу шлака	172	0,34	27,7

Было приготовлено шесть составов: контрольный состав №1, составы №2-4 были приготовлены на шлаке, измельченном без добавок, а добавка вводилась с водой затворения в количестве 0,8; 1,2 и 1,6% от массы вяжущего. Составы №5 и №6 были приготовлены на шлаке, измельченном совместно с сухой добавкой в количестве 1,2 и 1,6% соответственно и затворялись только водой, т.е. по технологии однокомпонентного затворения гибридных цементов.

Результаты исследований и обсуждение

Снижение расхода воды в равноподвижных смесях приводит к повышению плотности камня и, улучшению прочностных свойств. Из анализа Таблицы 3 видно, что одинаковое снижение расхода воды было получено при введении добавки в количестве 1,6% с водой затворения и добавки в количестве 1,2% при помолу шлака. В составах №4 и №6 при одинаковом расходе добавки в количестве 1,6% наибольшее снижение расхода воды 27,7% достигнуто при введении добавки с помолу шлака. Прочностные характеристики растворов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Прочностные характеристики растворов

№ п/п	Прочность на сжатие и растяжение при изгибе, МПа/%							
	12 час		1 сут.		3 сут.		28 сут	
	изг	сж	изг	сж	изг	сж	изг	сж
1	0,26 100	1,4 100	0,41 100	3,6 100	2,9 100	12,0 100	5,9 100	29,4 100
2	0,37 142	1,9 136	0,88 215	4,3 119	3,7 128	14,6 121	8,1 137	44,9 153
3	0,37 142	1,9 136	0,90 220	5,9 164	4,2 145	17,6 146	6,0 102	47,4 127
4	0,5 192	2,5 179	1,28 312	6,5 180	4,9 169	22,3 186	7,8 132	52,4 178
5	0,54 207	2,7 192	1,34 326	6,6 183	4,9 169	21,8 181	7,6 128	52,8 179
6	0,66 253	3,2 228	1,61 392	7,1 197	5,5 189	26,9 224	8,6 145	57,2 194

При анализе результатов Таблицы 4 следует сравнить составы №3 и №5 с одинаковым расходом добавки (1,2%), но отличающиеся способом ее введения. При введении добавки с помолу шлака водо-цементное отношение равноподвижной смеси снижается с 0,4 до 0,37, что привело к повышению прочности при изгибе и сжатии в исследованных интервалах времени. Аналогично можно наблюдать повышение прочности при сравнении составов №4 и №6 с одинаковым расходом добавки (1,6%), но отличающиеся способом ее введения. При сравнении составов №4 и №5 следует отметить получение равнопрочных бетонов при снижении расхода добавки с 1,6% до 1,2% за счет введения добавки при помолу шлака.

Возможные пути производства гибридного цемента в России

Такие операции как сушка и помол необходимо выполнять с гранулированным шлаком при его использовании в составе цемента. Зачастую эти операции рассматриваются при производстве гибридного цемента как технологические операции, которые следует выполнять на заводе по производству портландцемента. Однако, места образования до-



менного шлака могут находиться на значительных расстояниях от заводов по производству клинкера в некоторых регионах России. Отсюда, обоснование выбора технологии производства гибридного цемента с высокой долей шлака и низкой долей клинкера становится важным вопросом.

Можно отметить, что для некоторых регионов России целесообразно разрабатывать технологию производства гибридных цементов с высоким содержанием шлака (до 95%) в местах образования шлаков. Местное вторичное сырье следует анализировать с целью применения в качестве активаторов твердения, например, отходы химической промышленности, цементная пыль и др.

Технологии гибридных цементов на основе зол следует развивать для Зауралья и Дальнего Востока. Значительное количество золо-шлаковых отходов топливно-энергетического комплекса образуется в этих регионах, поскольку в качестве топлива используется уголь, в отличие от Центральной части России, где в качестве топлива используется природный газ. Во многих странах мира сухая зола–уноса как основной продукт золошлаковых материалов теплоэлектростанций широко применяется в производстве различных строительных материалов. В России использование зол–уноса составляет малую долю от объема их образования. Основной причиной такого положения является недостаточность разработки нормативно-правовой базы, необходимой для экономического стимулирования широкого применения золошлаковых материалов. За рубежом золошлаковые материалы считаются побочным продуктом ТЭС, и электростанции осуществляют предпродажную подготовку продукта, доводя его характеристики до требований действующих строительных нормативных документов.

Заключение

В настоящее время исследования гибридных цементов направлены на теоретическое и практическое обоснование получения новых составов на основе многокомпонентного минерального сырья вторичных ресурсов для долговечных цементирующих матриц за счет повышения реакционной способности вяжущих, снижения их водопотребности, направленного регулирования процессов фазо- и структурообразования и их взаимосвязи с процессами определяющими внутреннюю коррозию камня.

Исследования направлены на развитие технологии однокомпонентного затворения гибридных цементов, т.е. готовые гибридные цементы затворяются только водой. Отсюда, способ введения активатора твердения в состав гибридного цемента является другим важным направлением исследований: при помоле шлака, при помоле одного из компонентов вяжущего и последующего смешивания со всем

объемом вяжущего, при смешивании с вяжущим и др. В работе изучено влияние на водопотребность смеси и прочность бетона двухкомпонентного затворения, когда активатор твердения вводился с водой и однокомпонентного затворения, когда активатор твердения вводился при помоле шлака.

Результаты показали, что возможно получение равнопрочных бетонов при снижении расхода добавки с 1,6% до 1,2% за счет введения добавки при помоле шлака. Повышение прочности обусловлено снижением водопотребности смеси.

Полученные результаты будут способствовать развитию производства гибридных цементов в местах образования многотоннажных побочных продуктов промышленности, например шлаков, расширению области применения гибридных цементов в транспортном, промышленном и подземном строительстве.

Библиографический список

1. Palomo, A., Monteiro, P., Martauz, P., Bilek, V., & Fernandez-Jimenez, A. (2019). Hybrid binders: A journey from the past to a sustainable future (opus caementicium futurum). *Cement and Concrete Research*, 124, 105829.
2. Garcia-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Variation in hybrid cements over time. *Alkaline activation of fly ash-portland cement blends*, *Cem. Concr. Res.* 52 (2013) 112–122
3. Kazanskaya, L. F. Technological approaches to increase the quality of lightweight concrete based on hybrid binders / L. F. Kazanskaya, O. M. Smirnova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems 2019*, St. Petersburg, 20–21 июня 2019 года. – St. Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012038. – DOI 10.1088/1757-899X/666/1/012038. – EDN VYLIXX.
4. Rakhimova, N. R., Rakhimov, R. Z. (2019). Toward clean cement technologies: A review on alkali-activated fly-ash cements incorporated with supplementary materials. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 509, 31-41.
5. Петрова Т.М. Взаимосвязь структуры и долговечности шлакощелочных бетонов на основе доменных и сталеплавильных шлаков // *Вестник гражданских инженеров*. 2012. № 4 (33). С. 167-173.
6. Патент № 2556563 С1 Российская Федерация, МПК С04В 7/153. Вяжущее : № 2014129156/03 : заявл. 15.07.2014 : опубл. 10.07.2015 / Т. М. Петрова, О. М. Смирнова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I". – EDN WBLBCF.
7. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review. *Journal of Building Engineering*. 2022. Т. 45. С. 103638.
8. Рахимова, Н. Р. Влияние содержания добавок термоактивированной глины на свойства и состав продуктов твердения композиционного шлакощелочного вяжущего с низким содержанием щелочного активатора / Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2021. – № 2(56). – С. 50-59. – DOI 10.52409/20731523_2021_2_50. – EDN ADQITI.



9. Bazhenov, Y., Kozlova, I., Nechaev, K., Kryuchkova, A. (2019). The use of finely ground slag in portland cement with mineral additives. E3S Web of Conferences, Vol. 91, 02044.
10. Федюк, Р. С. Свойства композиционных вяжущих на основе техногенных отходов Дальнего Востока / Р. С. Федюк // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2(55). – С. 132-136. – EDN WEZJRR.
11. Повышение ударной вязкости фиброзолобетона / Р. С. Федюк, Ю. Л. Лисейцев, А. В. Таскин [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Т. 3. – № 6. – С. 5-16. – EDN YTZIUC.
12. Supersulfated cement applied to produce light-weight concrete / L. F. Kazanskaya, O. M. Smirnova, Á. Palomo [et al.] // Materials. – 2021. – Vol. 14. – No 2. – P. 1-14. – DOI 10.3390/ma14020403. – EDN UROOMU.
13. Активированные щелочами цементы с добавкой мергеля / Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов, А. Р. Бикмухаметов, Л. И. Потапова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 4(724). – С. 5-19. – EDN LQCCWL.
14. Федюк Р.С., А.В. Мочалов. Вопросы управления структурообразованием композиционного вяжущего // Международное аналитическое обозрение АЛИТинформ: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2018. № 2 (51). С. 2-10.
15. Крамар Л.Я., Иванов И.М. Быстротвердеющий, высокопрочный и морозостойкий бетон на основе шлакопортландцемента // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Т. 21. № 1. С. 48-53.
16. Мясникова А.А., Иванов И.М., Крамар Л.Я. Высокофункциональные бетоны модифицированные доменным гранулированным шлаком // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2021. № 3 (29). С. 8-15.
17. Влияние вида заполнителя из отходов производств на коррозионную стойкость бетона / Л. Р. Зайцева, Е. В. Луцык, Т. В. Латыпова [и др.] // Строительные материалы. – 2021. – № 11. – С. 23-29. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-797-11-23-29. – EDN PLKQJL.
18. Применение шлакощелочных вяжущих в технологии струйной цементации для усиления грунтов / А. И. Харченко, В. А. Алексеев, И. Я. Харченко, А. А. Алексеев // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. – № 6(129). – С. 680-689. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.6.680-689. – EDN ARNUDT.
19. Цементы низкой водопотребности - путь эффективного использования клинкера и минеральных наполнителей в бетонах / О. В. Хохряков, В. Г. Хозин, И. Я. Харченко, Д. В. Газданов // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – № 10(109). – С. 1145-1152. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.10.1145-1152. – EDN ZRZRSR.
20. Živica, V. (1993). Alkali-Silicate admixture for cement composites incorporating pozzolan or blast furnace slag. Cement and concrete research, 23(5), 1215-1222.
21. Singh, N., Rai, S. and Singh, N.B., Effect of sodium sulphate on the hydration of granulated blast furnace blended Portland cement, Ind J Eng Mater Sci, 8 (2001), 110-113
22. Angulo-Ramírez, D. E., de Gutiérrez, R. M., & Puertas, F. (2017). Alkali-activated Portland blast-furnace slag cement: Mechanical properties and hydration. Construction and Building Materials, 140, 119-128.
23. Barboza-Chavez, A. C., Gómez-Zamorano, L. Y., & Acevedo-Dávila, J. L. (2020). Synthesis and Characterization of a Hybrid Cement Based on Fly Ash, Metakaolin and Portland Cement Clinker. Materials, 13(5), 1084.
24. Martauz, P., Janotka, I., Strigáč, J., & Bačuvčík, M. (2016). Fundamental properties of industrial hybrid cement: utilization in ready-mixed concretes and shrinkage-reducing applications. Materiales de Construcción, 66(322), 084.
25. Структурообразование строительных композиционных материалов на основе местного сырья модифицированных добавками полифункционального назначения / Ю. Г. Иващенко, Р. Т. Мамешов, Р. Н. Эминов, Ш. М. Магомедов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2019. – № 6(39). – С. 306-311. – EDN OWTYJB.
26. Влияние мелкодисперсных наполнителей из техногенных отходов и низкомолекулярного фиброволокна на удобоукладываемость самоуплотняющихся бетонов / Д. А. Ахметов, Ю. В. Пухаренко, Е. Н. Роот, С. Б. Ахажанов // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 5(88). – С. 102-108. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-5-102-108. – EDN QEZUJQ.
27. Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов / В. С. Лесовик, Р. С. Федюк, А. М. Гридчин, Г. Мурали // Строительные материалы. – 2021. – № 9. – С. 32-40. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-795-9-32-40. – EDN QQQYWC.
28. Иноземцев, А. С. Реологические особенности цементно-минеральных систем, пластифицированных поликарбонатом / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев, Т. К. Зьюнг // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3(40). – С. 24-34. – EDN DCLZCH.
29. Исследование комплексов активных минеральных добавок и дисперсных волокон при разработке составов дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов / Т. А. Низина, А. С. Балыков, Л. В. Макарова [и др.] // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2017. – № 20. – С. 230-240. – EDN YVBHJZ.
30. Smirnova, O. M. Low-Clinker Cements with Low Water Demand / O. M. Smirnova // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2020. – Vol. 32. – No 7. – P. 06020008. – DOI 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003241. – EDN WISBUU.
31. Khozin, V., Khohryakov, O., Baishev, D., & Makarenko, S. (2019, November). Low-water demand cements—a reliable way of CO2 emission reduction. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 667, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 03.06.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 03.06.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.

Научная статья

УДК 539.375.5

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

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела; 2.1.9 Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2022_3_66

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ

© Авторы 2022
SPIN: 7522-2356
AuthorID: 415941

ПРОХОРОВА Алла Валерьевна
кандидат технических наук, кафедры строительства,
строительных материалов и конструкций
Тульский государственный университет
(Россия, Тула, e-mail: alla_prohorowa@mail.ru)

ПРОХОРОВ Петр Дмитриевич
магистрант
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(Россия, Москва, e-mail: petrpro071@gmail.com)

Аннотация. В статье исследуется изменение параметров напряженно-деформированного состояния бесконечной цилиндрической железобетонной оболочки при одновременном воздействии нагрузки и агрессивной хлоридсодержащей среды. Построена математическая модель деформирования элементов железобетонных конструкций с учетом коррозионного повреждения компонентов железобетона под действием хлоридов. Построены графики изменения параметров напряженно-деформированного состояния железобетонной трубы. Проанализированы результаты расчетов, проведена оценка сроков службы элементов конструкций из железобетона при эксплуатации в условиях воздействия с внешней хлоридсодержащей средой.

Ключевые слова: деформирование железобетонной трубы, деформации при коррозионных повреждениях, строительство, воздействие хлоридсодержащей среды, математическая модель деформирования

Для цитирования: Прохорова А.В., Прохоров П.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния бесконечной цилиндрической оболочки из железобетона с учетом агрессивного воздействия хлоридсодержащей среды // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 66-69. doi:10.51608/26867818_2022_3_66.

Original article

STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF AN INFINITE CYLINDRICAL SHELL MADE OF REINFORCED CONCRETE CONSIDERING THE AGGRESSIVE INFLUENCE OF CHLORIDE-CONTAINING ENVIRONMENTS

© The Author(s) 2022

PROKHOROVA Alla Valeryevna
candidate of technical sciences, associate professor of department
of construction, building materials and structures
Tula State University
(Russia, Tula, e-mail: alla_prohorowa@mail.ru)

PROKHOROV Petr Dmitrievich
graduate student
Moscow State University of M.V. Lomonosov
(Russia, Moscow, e-mail: petrpro071@gmail.com)

Annotation. This article studies the change in the parameters of the stress-strain state of an infinite cylindrical reinforced concrete shell under the simultaneous action of loading and the chloride-containing environments. A mathematical model of reinforced concrete elements deformation with corrosion damage under the action of chlorides has been built. The graphs of



changes in the parameters of the stress-strain state of a reinforced concrete pipe have been plotted. The results of calculations have been analyzed, the estimation of service life of elements of reinforced concrete structures under the conditions of influence with the external chloride-containing environments has been made.

Keywords: deformation of reinforced concrete tube, deformations under corrosive defects, influence of chloride-containing environments, mathematical model of deformation

For citation: Prokhorova A.V., Prokhorov P.D. Study of the stress-strain state of an infinite cylindrical shell made of reinforced concrete considering the aggressive influence of chloride-containing environments // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 66-69. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_66.

Работоспособность конструктивных элементов во многих случаях связана с их сопротивляемостью агрессивному воздействию внешней среды. Агрессивная среда проникает в объем элементов конструкций и деталей машин, в результате чего могут сократиться сроки службы конструкций. Наблюдения за эксплуатацией бетонных и железобетонных конструкций показывают, что при проникновении хлоридов в объем конструкции снижаются защитные свойства бетона, площадь сечения арматуры уменьшается и нарушается ее сцепление с бетоном [1-3]. Теория расчета элементов железобетонных конструкций, которые работают в инертной среде, достаточно хорошо обоснована и разработана. Проблема расчета железобетонных конструкций с учетом коррозионных воздействий привлекает внимание и активно исследуется многими учеными [3-5].

Рассмотрим бесконечную железобетонную толстостенную цилиндрическую оболочку, которая находится в равновесии под действием внутреннего давления P_1 . Внутренний радиус трубы R_1 , внешний R_2 , арматура установлена по внутренней и внешней окружности, а также в виде продольных арматурных стержней, толщина защитного слоя бетона a_b .

Решение плоской задачи строилось в цилиндрических координатах, где уравнение равновесия элемента оболочки имеет вид

$$\sigma_r + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (1)$$

где σ_r и σ_θ – радиальные и тангенциальные напряжения, r – радиус. Для описания напряженно-деформированного состояния конструкций, выполненных из тяжелых бетонов, применяем потенциал деформаций, представленный через инварианты, связанные с октаэдрическими площадками [6-7]. Указанные соотношения апробированы для моделирования деформирования различных железобетонных конструкций в работах Трещева А.А. и дают хорошее соответствие экспериментальным данным [6-8].

Зависимости между компонентами тензоров деформаций и напряжений используем в виде соотношений

$$\varepsilon_{ij} = \{N\} [W_{ij}], \quad (1)$$

при этом потенциал деформаций имеет форму

$$W = \{Y_e\} [W_1] + (\{Y_p\} [W_1])^n, \quad (2)$$

Значения констант потенциала (2) $\{Y_e\}$, $\{Y_p\}$ для тяжелого бетона с пределом прочности на осевое сжатие $R^- = 28,4$ МПа приведены в таблице 1 [8].

Таблица 1

Константы потенциала	Значения констант
n	2,75
$A_1, \text{МПа}^{-1}$	$6,533 \cdot 10^{-5}$
$B_1, \text{МПа}^{-1}$	$9,961 \cdot 10^{-6}$
$C_1, \text{МПа}^{-1}$	$1,090 \cdot 10^{-4}$
$D_1, \text{МПа}^{-1}$	$3,493 \cdot 10^{-5}$
$E_1, \text{МПа}^{-1}$	$8,829 \cdot 10^{-6}$
$A_2, \text{МПа}^{(1-2n)/n}$	$1,682 \cdot 10^{-3}$
$B_2, \text{МПа}^{(1-2n)/n}$	$1,609 \cdot 10^{-3}$
$C_2, \text{МПа}^{(1-2n)/n}$	$1,376 \cdot 10^{-3}$
$D_2, \text{МПа}^{(1-2n)/n}$	$2,008 \cdot 10^{-3}$
$E_2, \text{МПа}^{(1-2n)/n}$	$1,412 \cdot 10^{-4}$

Влияние коррозионного воздействия хлора предлагаем учитывать с помощью функциональных зависимостей, которые позволяют определить глубину разрушения бетона и арматуры с учетом срока эксплуатации конструкций. В работе [9] установлено, что глубина продвижения фронта разрушения бетона для сечений железобетонных конструкций до образования коррозионных трещин аппроксимируется функцией

$$h_p = q_1 t^{0,7} - q_2 \exp(-q_3 / t), \quad (3)$$

где h_p – глубина разрушения бетона (в мм); t – время эксплуатации конструкции (в годах); $q_1, q_2, q_3, 0,7$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от параметров эксплуатационной среды, материала и способа изготовления конструкций [9].

После образования коррозионных трещин в защитном слое, глубина разрушения бетона определяется следующим выражением [9]

$$h_p = (a_b + d) + q_1 (t - t_b)^{0,7} - q_2 \exp(-q_3 / (t - t_b)), \quad (4)$$

где a_b – толщина защитного слоя (в мм); d – диаметр рабочей арматуры (в мм); t_b – момент образования коррозионных трещин (в годах), для монолитных конструкций $t_b = 0,055 a_b^{1,7}$, для сборных конструкций $t_b = 0,1 a_b^{1,7}$.

Значение глубины коррозии арматуры с учетом времени эксплуатации конструкций рассчитываем по зависимости [9]



$$\delta = 0,25 \left[(t - t_b) + (t_b - t_0) \exp \left(-\frac{t - t_0}{t_b - t_0} \right) \right], \quad (5)$$

где δ - глубина коррозии (уменьшение диаметра) арматуры (в мм); t_0 - время обработки защитного слоя опасными для арматуры концентрациями хлоридов (в годах) [9].

Отдельные фиктивные слои оболочки, разрушенные в результате коррозионного воздействия, не участвуют в работе конструкции, граница «рабочей» поверхности оболочки перемещается с ростом глубины разрушения бетона. Таким образом, внутренний радиус трубы с течением времени будет увеличиваться на глубину коррозионного разрушения бетона

$$R_1^* = R_1 + h_p, \quad (6)$$

где R_1 и R_1^* - внутренний радиус оболочки в исходном состоянии и при разрушении защитного слоя бетона, соответственно; h_p - глубина разрушения бетона, определяется выражениями (3) и (4).

Условие образования коррозионных трещин запишем в следующем виде

$$t \geq t_{cr}, \quad (7)$$

где t - срок эксплуатации конструкции (в годах); t_{cr} - момент времени образования коррозионных трещин (в годах), $t_{cr} = 0,055a_b^{1,7}$ - для монолитных железобетонных конструкций и $t_{cr} = 0,1a_b^{1,7}$ - для сборных конструкций [9].

Задача решалась численно методом пошаговых нагружений в сочетании с итерационной процедурой «переменных параметров упругости». Разрешающая система линейных алгебраических уравнений получена относительно σ_{r1} , решение которой построено в среде интерактивных расчетов MATLAB. Для первого приближения принято линейное решение при условии равенства нулю нелинейных компонент и времени воздействия агрессивной среды.

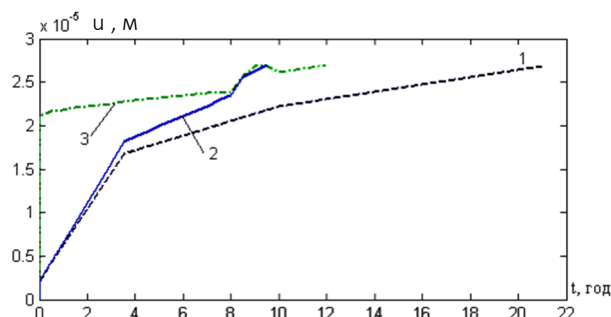


Рис. 1. Изменение перемещений u для внутренней грани монолитной трубы:

- 1 – без учета коррозионного воздействия;
- 2 – при одновременном увеличении нагрузки и времени воздействия хлоридсодержащей среды;
- 3 – при постоянной нагрузке 1 МПа и увеличении времени коррозионного воздействия

Расчеты проводились для железобетонной трубы с размерами $R_1 = 0,4$ м, $R_2 = 0,8$ м, из тяжелого бетона с $R = 28,4$ МПа, с армированием сеткой из стержней класса А-400 диаметром 6 м, стенка трубы была разбита на 400 отрезков. Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 1-4).

Нагрузки трещинообразования при деформировании железобетонной цилиндрической оболочки в условиях воздействия хлоридсодержащей среды снижаются на 10-20% (рис. 2). Срок службы сборной железобетонной трубы сокращается в 2 раза, а монолитной железобетонной трубы – в 2,3 раза.

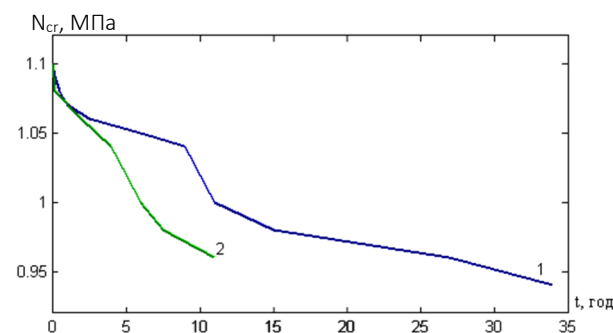


Рис. 2. Зависимость нагрузки трещинообразования от времени действия хлоридов

для внутреннего армированного слоя:

- 1 – для сборной железобетонной трубы;
- 2 – для монолитной железобетонной трубы

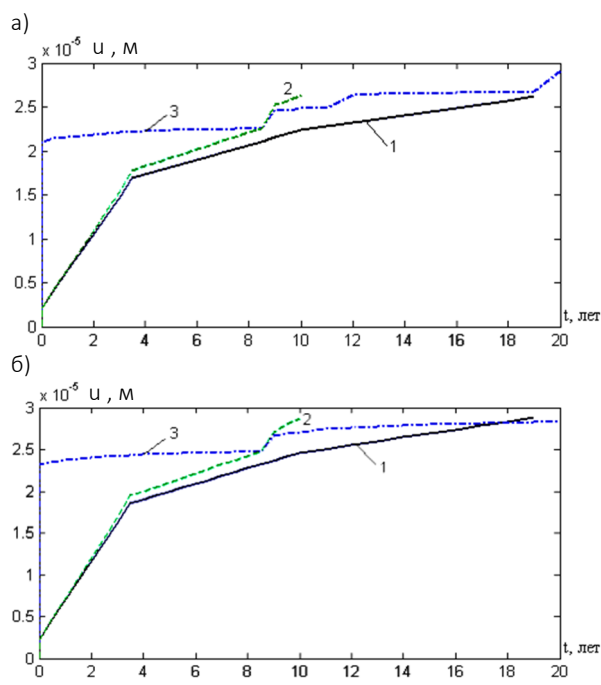


Рис. 3. Изменение перемещений u на внутренней (а) и на внешней (б) гранях сборной железобетонной оболочки:

- 1 – без учета коррозионного воздействия;
- 2 – при одновременном увеличении нагрузки и времени воздействия хлоридсодержащей среды;
- 3 – при постоянной нагрузке 1 МПа и увеличении времени коррозионного воздействия

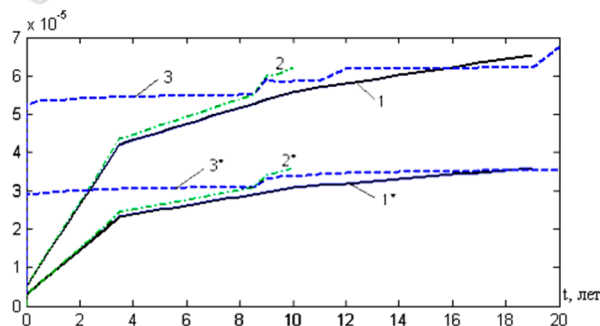


Рис. 4. Изменение деформаций ε_{θ} на внутренней грани сборной железобетонной оболочки (а-1,2,3) и на внешней грани (а-1*,2*,3*):

- 1 – без учета коррозионного воздействия;
2 – при одновременном увеличении нагрузки и времени воздействия хлоридсодержащей среды;
3 – при постоянной нагрузке 1 МПа и увеличении времени коррозионного воздействия

Числовые расчеты показали, что величина разрушений бетона и арматуры при одновременном воздействии нагрузки и агрессивной среды для монолитной трубы больше, чем для конструкций заводского изготовления (табл. 2). Данный эффект подтверждается экспериментальными исследованиями [1, 2, 9].

Таблица 2

Вид конструкции	Разрушения	Величина нагрузки и время воздействия хлоридов	
		0,5 МПа, 2 года	1 МПа, 8,5 лет
сборная	бетона	0,52 см	0,97 см
	арматуры	0,0 мм	0,0 мм
монолитная	бетона	0,71 см	2,69 см
	арматуры	0,0 см	0,8 мм

Анализ полученных результатов подтверждает, что коррозионное воздействие хлоридсодержащей среды вызывает значительное ухудшение деформационных характеристик бетона и арматуры, сокращение сроков службы элементов конструкций. Очевидным является необходимость учета коррозионного воздействия при расчете элементов железобетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой.

бетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой.

Библиографический список

1. Лукашевич М.В., Филимонова Н.В. Влияние жидких агрессивных хлоридсодержащих сред на коррозионные повреждения железобетонных конструкций// Вестник Брестского государственного университета. Строительство и архитектура. 2011. № 1 (67). С. 40-43.
2. Меркулов С.И. Коррозионное повреждение арматуры железобетонных конструкций// В сборнике: Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений. Курский государственный университет. Курск, 2021. С. 112-116.
3. Берлинов М.В., Берлинова М.Н., Творогов А.В., Печкина Е.К. Учет коррозионных повреждений эксплуатируемых железобетонных конструкций в условиях трехосного напряженно-деформированного состояния// Строительство и архитектура. 2020. Т.8. № 3. С. 40-46.
4. Гарибов Р.Б., Малофеев Ю.А. Особенности расчета железобетонных конструкций, поврежденных коррозией// В сборнике: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». 2018. С. 145-148.
5. Минасян А.А., Пятикрестовский К.П. Диаграммы деформирования бетона и арматуры коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия// Строительная механика и расчет сооружений. 2019. № 5 (286). С. 7-13.
6. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной наведённого чувствительностью к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография. - М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. 328 с.
7. Трещев А.А. Изотропные пластины и оболочки, выполненные из материалов, чувствительных к виду напряженного состояния: монография. М.; Тула: РААСН; Изд-во ТулГУ, 2013. 249 с.
8. Трещев А. А., Ковалев Д. Г., Неделин А. В. Деформирование толстостенной железобетонной трубы// Изв. ТулГУ. Технология, механика и долговечность строительных материалов, конструкций и сооружений. – Москва – Тула. – 2001. – С. 143 -147
9. Сетков В. Ю., Шибанова И. С., Рысева О. П. Разрушение железобетонных конструкций промышленных зданий при действии хлора// Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 11. – С. 6 – 10.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 16.06.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 16.06.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



Научная статья
УДК 539.386, 539.375.5
ГРНТИ: 30.19: Механика деформируемого твердого тела
ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела
doi:10.51608/26867818_2022_3_70

ТРЕЩИНА НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ
ТОНКОЙ ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНКИ ИЗ КОМПОЗИТНОГО ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

© Автор 2022
SPIN: 2755-2105
AuthorID: 449403

ТЕЛИЧКО Виктор Григорьевич
кандидат технических наук, доцент
Тульский государственный университет
(Россия, Тула, e-mail: katranv@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассматривается напряженно-деформированное состояние тонкой полубесконечной пластины из начально-изотропного композитного материала с повреждением в форме трещины нормального отрыва. Приводится методика решения задачи механики разрушения о распределении напряжений и деформаций около кончика трещины, что позволяет эффективно исследовать механизмы разрушения для различных материалов, в том числе для обладающих неклассическими свойствами и получать дополнительную информацию о процессах и причинах разрушения. Для каждой конструкции имеется стадия деформирования, которая приводит к образованию дефектов в материале, накоплению их с последующей трансформации в макротрещину, что может приводить к полному разрушению. Вблизи кончика трещины существует особая область, в которой происходят основные процессы образования и развития повреждаемости. Приведено численное решение конкретной модельной задачи о плоском напряженном состоянии тонкой пластины с учетом повреждаемости в форме трещины нормального отрыва. В качестве материала для модельной задачи в данной статье рассматривается композитный материал, каковым является бетон и чье поведение описывается определяющими соотношениями для начально-изотропного материала, механические свойства которого существенно зависят от вида напряженного состояния. Определяющие соотношения сформулированы в рамках подхода, связанного с нормированными пространствами напряжений. Получена замкнутая система разрешающих уравнений, решение которой строится в рамках метода переменных параметров упругости и метода конечных разностей. Показаны эпюры напряжений непосредственно вблизи кончика трещины.

Ключевые слова: повреждаемость, трещинообразование, трещина, трещина нормального отрыва, бетон, строительство, метод конечных разностей, дефекты, начально-изотропный материал, разносопротивляемость

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Правительства Тульской области для выполнения работ в сфере науки и техники, договор №ДС/284.

Для цитирования: Теличко В.Г. Трещина нормального отрыва при плоском напряженном состоянии тонкой полубесконечной пластины из композитного изотропного материала // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 70-74. doi:10.51608/26867818_2022_3_70.

Original article

NORMAL SEPARATION CRACK UNDER A PLANE STRESS STATE OF A THIN SEMI-INFINITE PLATE
FROM COMPOSITE ISOTROPIC MATERIAL

© The Author(s) 2022

TELICHKO Victor Grigorievich
candidate of technical sciences, associate professor
Tula State University
(Russia, Tula, e-mail: katranv@yandex.ru)

Annotation. The article considers the stress-strain state of a thin semi-infinite plate made of an initially isotropic composite material with damage in the form of a normal separation crack. A technique for solving the problem of fracture mechanics on the distribution of stresses and strains near the crack tip is presented, which makes it possible to effectively investigate the fracture mechanisms for various materials, including those with non-classical properties, and to obtain additional information about the processes and causes of fracture. There is a stage of deformation for each structure, which leads to the formation of defects in the material. Their accumulation with subsequent transformation into a macrocrack can lead to complete destruc-

tion. Near the tip of the crack, there is a special area, in which the main processes of formation and development of damage occur. A numerical solution is given for a specific model problem of the plane stress state of a thin plate considering damage in the form of a normal separation crack. As material for a model problem, this article considers concrete. Its behavior is described by constitutive relations for an initially isotropic material, the mechanical properties of which depend significantly on the type of stress state. The constitutive relations are formulated within the framework of the approach associated with normalized stress spaces. A closed system of resolving equations is obtained, the solution of which is constructed within the framework of the method of variable elasticity parameters and the method of finite differences. Stress diagrams are shown directly near the crack tip.

Keywords: damageability, crack formation, crack, normal separation crack, concrete, finite difference method, defects, initially isotropic material, different resistance

Acknowledgments: the work was supported by a grant of the Tula region Government for work in the field of science and technology, agreement No. DS / 284.

For citation: Telichko V.G. Normal separation crack under a plane stress state of a thin semi-infinite plate from composite isotropic material // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 70-74. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_70.

Введение

Современная практика предъявляет все более жесткие требования к инженерным расчетам на жесткость и прочность, вследствие чего они становятся более ответственными и сложными. Теория деформирования материалов чувствительных к виду напряженного состояния относительно молодая ветвь механики деформируемого твердого тела. Периодом ее становления можно считать 60-е годы прошлого века. За прошедшее время, было предложено и рассмотрено достаточно много различных работоспособных определяющих соотношений для разносопротивляющихся и склонных к дилатации материалов, базирующихся на различных комплексных гипотезах, экспериментальных исследованиях и теоретических предположениях. Несмотря на это, оказалось, что физическая и механическая природа этого явления до сих пор недостаточно исследована, а существующие теории далеко не всегда отражают реальное поведение изучаемых материалов [1-5].

Одной из основных возможных причин зависимости деформационных характеристик материалов от вида напряженного состояния могут быть дефекты типа трещин и пористость материала. На практике это означает, что в начальном состоянии, в свободном от дефектов материале, имеется некоторая стадия деформирования, которая может приводить к образованию указанных дефектов, их развитию, слиянию с последующим формированием макроскопической трещины [6-8].

В данной статье, на основе полученной в работах А.А. Трещева и Н.М. Матченко [1-3] оптимальной формы потенциала деформаций для нелинейных начально-изотропных материалов, сформулированы уравнения состояния для разносопротивляющихся материалов, находящихся в плоском напряженном состоянии. Применяя указанные определяющие соотношения, а также используя методику исследования задач механики разрушения для дефектов типа трещин, для материалов, чьи механические свойства зависят от

вида напряженного состояния, предложенную в работах А.В. Березина [7-9], получено разрешающее дифференциальное уравнение для плоского напряженного состояния тонкой пластинки с учетом повреждаемости в форме трещины нормального отрыва.

Решение данного класса задач представляет собой значительный интерес для механики твердого тела как науки, так как позволяет исследовать процессы, протекающие около кончика трещины при наличии повреждаемости в этой области, что, вероятно, позволит получить дополнительную важную информацию о механизмах разрушения для материалов чувствительных к виду напряженного состояния.

Таким образом, можно заключить, что задача об исследовании плоского напряженного состояния полубесконечной тонкой пластины из разносопротивляющегося материала, с учетом повреждаемости в форме трещины нормального отрыва является актуальной и важной задачей современной механики деформируемого твердого тела как в теории, так и при рассмотрении решения прикладных задач.

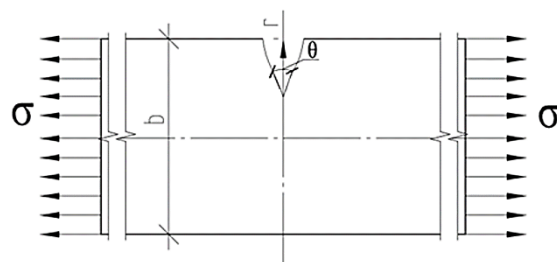


Рис. 1. Схема модельной задачи пластины в плоском напряженном состоянии

Постановка задачи исследования

В представленной работе рассматривается задача о напряженно-деформированном состоянии тонкой пластинки шириной b и бесконечной длины с учетом наличия трещины нормального отрыва со свободными от усилий берегами. В качестве граничных условий задавались значения функции $f(\theta)$ и ее



производных в зависимости от полярного угла θ [9], как указано ниже. В работе проводится сравнение результатов расчета по предложенной в статье модели с результатами расчета на основе физических соотношений, принятых в классической теории (без учета разнотензорности) изотропных материалов. Проведен анализ учета влияния свойств разнотензорности материалов и наличия повреждаемости (в виде трещины нормального отрыва) на плоско напряженное состояние тонкой пластинки.

Здесь (см. рис. 1) r – расстояние от конца трещины. Ввиду симметрии геометрии решаемой задачи для ее решения удобно воспользоваться полярной системой координат с центром в конце трещины. Пластинка считается ограниченной по торцам абсолютно жесткими и гладкими плоскостями. В качестве материала для решения модельной задачи выбран бетон с пределом прочности на сжатие $R^c = 28,4$ МПа, так для такого материала подобные задачи еще не рассматривались [1].

Для решения выбранной задачи, имеем следующие граничные условия: при $\theta=0$, $f''(\theta=0)=f'''(\theta=0)=0$, $f(\theta=0)=1$, при $\theta=\pi$, $f(\theta=\pi)=f'(\theta=\pi)=0$; где $f(\theta)$ – выражение, учитываемое в функции напряжений и зависящее только от полярного угла, угла раскрытия трещины.

Методология расчета

Как показали ранее проведенные вычислительные эксперименты по решению задач механики твердого тела для начально-изотропных материалов чувствительных к виду напряженного состояния, определение их механического поведения можно эффективно проводить, используя оптимальную форму потенциала W_1 (1), предложенную в работах [1-3]. Данный потенциал позволяет достаточно просто сформулировать физические зависимости между напряжениями и деформациями для существенно нелинейных, чувствительных к виду напряженного состояния изотропных материалов с разными механическими характеристиками на растяжение и сжатие [10-12].

Сначала запишем определяющие соотношения для начально-изотропного тела. Для этого воспользуемся ранее полученными соотношениями для этой задачи [11].

Потенциал деформаций и связь деформаций с напряжениями [1] имеют вид:

$$W_1 = (A_e + B_e \xi) \sigma^2 + (C_e + D_e \xi + E_e \eta \cos 3\varphi) \tau^2 + [(A_p + B_p \xi) \sigma^2 + (C_p + D_p \xi + E_p \eta \cos 3\varphi) \tau^2]^n, \quad (1)$$

$$\{e\} = [A] \{\sigma\}, \quad (2)$$

где S_0 – модуль вектора полного напряжения на октаэдрической площадке; ξ , η – гармонические функции, которые могут трактоваться как нормиро-

ванные нормальные и касательные напряжения на октаэдрической площадке; φ – фаза напряжений. Зависимости для элементов матрицы $[A]$ могут быть получены применением к потенциалу (1) формул Кастильяно [2]:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & A_{14} & A_{15} \\ & A_{22} & A_{26} & A_{24} & A_{25} \\ & & sim & & \\ & & & A_{44} & A_{45} \\ & & & & A_{55} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Соответственно, могут быть записаны определяющие соотношения для изотропных разнотензорных материалов [1] в матричной форме. Эти соотношения будут положены в основу разрешающих уравнений, которые учитывают возникновение трещины нормального отрыва.

В соответствии с условиями рассматриваемой задачи о плоском напряженном состоянии, компоненты тензора напряжений τ_{13} , τ_{23} , σ_{33} и соответствующие компоненты тензора деформаций обращаются в нуль. Принимая во внимание условия поставленной задачи, определяющие соотношения перепишутся в следующем виде:

$$e_{11} = A_{11} \sigma_{11} + A_{12} \sigma_{22}; \quad e_{22} = A_{12} \sigma_{11} + A_{22} \sigma_{22}, \quad e_{12} = A_{66} \tau_{12}. \quad (4)$$

Здесь

$$A_{11} = \{2(R_1 + 2R_2)/3 + R_3 \xi (1 - \xi^2)/3 + R_4 [\xi (2 - \eta^2) + 4(\sigma_{11} - 2\sigma_{22})/9S_0] + R_5 [\eta \cos 3\varphi (1 + \xi^2) + 2\sqrt{2}\xi - 2\cos 3\varphi - \sqrt{2}\sigma_{22}/S_0]\}/3;$$

$$A_{12} = \{2(R_1 - R_2)/3 + (R_3 + R_4/3)\xi + R_5 [\cos 3\varphi (1 - \xi) - \sqrt{2}\xi]\}/3;$$

$$A_{22} = \{2(R_1 + 2R_2)/3 + R_3 \xi (1 - \xi^2)/3 + R_4 [\xi (2 - \eta^2) + 4(\sigma_{22} - 2\sigma_{11})/9S_0] + R_5 [\eta \cos 3\varphi (1 + \xi^2) + 2\sqrt{2}\xi - 2\cos 3\varphi - \sqrt{2}\sigma_{11}/S_0]\}/3;$$

$$A_{66} = 2\{2R_2 - R_3 \xi^3 + R_4 [\xi (2 - \eta^2) - (\sigma_{11} + \sigma_{22})/3S_0] + R_5 [\sqrt{2}\eta (\sigma_{11} - \sigma_{22})/2 - \eta^3 \cos 3\varphi]\}/3,$$

R_i – константы потенциала деформаций W_1 [1, 2].

Для исследования распределения параметров напряженно-деформируемого состояния у конца трещины в зависимости от полярного угла θ (угол раскрытия трещины) в случае плоского напряженного состояния выполним следующее: а) введем полярные координаты с центром в конце трещины (r, θ) ; б) введем специальную функцию напряжений $\chi(r, \theta)$.

Поскольку в данном исследовании не рассматривается область трещины, где реализуется асимптотика, функция напряжений примет следующий вид: $\chi(r, \theta) = r^{3/2} f(\theta)$ [9].

Воспользуемся дифференциальными уравнениями для компонент тензора напряжений, приведенными в работе А.В. Березина [9] для трещин нормального отрыва в телах, характеристики которых зависят от вида напряженного состояния:



$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \chi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial \theta^2}; \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 \chi}{\partial r^2}; \quad \sigma_{r,\theta} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial \chi}{\partial \theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \chi}{\partial r \partial \theta}. \quad (5)$$

Деформации удовлетворяют условию совместности, которое в полярных координатах имеет вид:

$$2 \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varepsilon_{r,\theta}}{\partial \theta} \right) = \frac{\partial^2 \varepsilon_r}{\partial \theta^2} - r \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial \theta} + r \frac{\partial^2 (r \varepsilon_\theta)}{\partial r^2}. \quad (6)$$

Тогда уравнения равновесия удовлетворяются автоматически.

$$\begin{aligned} e_r &= A_{11} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \chi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial \theta^2} \right) + A_{12} \left(\frac{\partial^2 \chi}{\partial r^2} \right), \\ e_\theta &= A_{12} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \chi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial \theta^2} \right) + A_{22} \left(\frac{\partial^2 \chi}{\partial r^2} \right), \\ \varepsilon_{r,\theta} &= A_{66} \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial \chi}{\partial \theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \chi}{\partial r \partial \theta} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Полученные выражения для деформаций (7) подставляем в уравнение совместности деформаций (6):

$$\begin{aligned} -A_{11} f^{(iv)}(\theta) + A_{11} r \cdot f'''(\theta) - \frac{1}{2} (A_{66} + 3A_{11} + A_{12}) f''(\theta) + \\ + \frac{1}{4} r (6A_{11} + 3A_{12}) f'(\theta) + \frac{1}{16} (6A_{12} + 3A_{22}) f(\theta) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Представленное разрешающее дифференциальное уравнение четвертого порядка относительно зависимости $f(\theta)$, определяющей функцию напряжения с учетом наличия трещины нормального отрыва, достаточно сложно для получения непосредственно аналитического решения, поэтому для его решения можно прибегнуть к численным методам, из которых в данном случае наиболее просто реализуется метод конечных разностей [13-15].

Результаты расчета

В ходе выполнения настоящего исследования, была решена модельная задача о плоском напряженном состоянии тонкой пластинки из начально-изотропного разнородного материала с учетом повреждаемости в форме образования трещины отрыва. Для указанного композитного материала константы применяемого потенциала имеют следующие значения [1]:

$$\begin{aligned} n &= 2,75; \quad A_e = 6,533 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}; \quad B_e = 9,961 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}; \\ C_e &= 1,090 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}; \quad D_e = 3,493 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}; \\ E_e &= 8,829 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}; \quad A_p = 1,682 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{(1-2n)/n}; \\ B_p &= 1,609 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{(1-2n)/n}; \quad C_p = 1,376 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{(1-2n)/n}; \\ D_p &= 2,008 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{(1-2n)/n}; \quad E_p = 1,412 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{(1-2n)/n}. \end{aligned}$$

На рис. 2, 3 показаны результаты расчета напряжений вблизи кончика трещины (при $r=0,05$), для двух вариантов расчета: с учетом теории деформирования разнородных материалов и без учета данных эффектов.

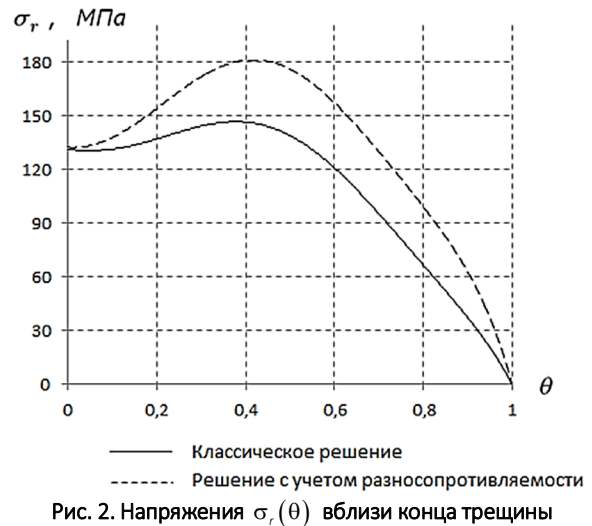


Рис. 2. Напряжения $\sigma_r(\theta)$ вблизи конца трещины

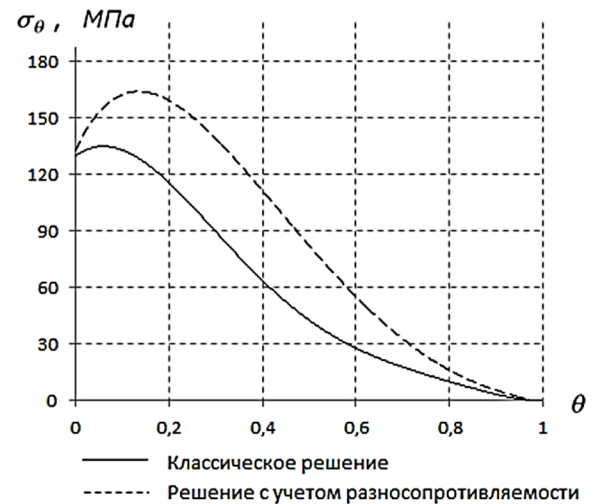


Рис. 3. Напряжения $\sigma_\theta(\theta)$ и $\sigma_{r,\theta}(\theta)$ вблизи конца трещины (начало)

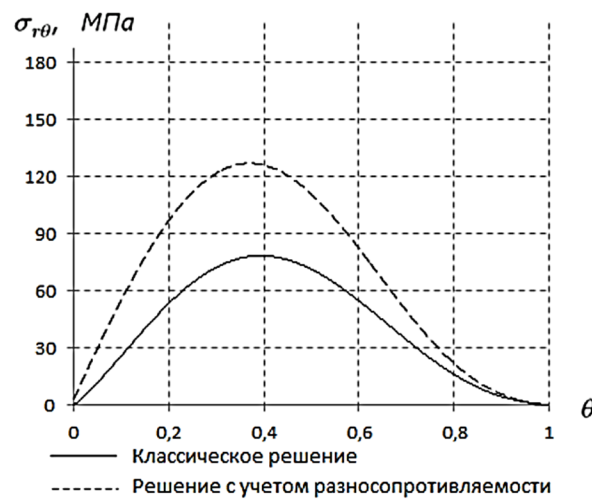


Рис. 3. Напряжения $\sigma_\theta(\theta)$ и $\sigma_{r,\theta}(\theta)$ вблизи конца трещины (окончание)



Проводя анализ полученных результатов, показанных на рис. 2, 3, отметим, что при учете эффекта чувствительности материала к виду напряженного состояния наблюдается значительное увеличение уровня возникающих напряжений вблизи конца трещины, причем эта разница явно зависит от угла раскрытия трещины (полярного угла) θ .

На рис. 2 для напряжений σ_r разница достигает 23% в зависимости от полярного угла θ (в радианах). На рис. 3 для напряжений σ_θ разница достигает 25% процентов, в зависимости от величины полярного угла θ (в радианах). Здесь, для касательных напряжений $\sigma_{\theta r}$, разница достигает 77% в зависимости от величины полярного угла θ (в радианах), кроме того, имеются заметные качественные различия в полученных результатах. Установленные эффекты, как в качественном, так и в количественном выражении, согласуются с характером результатов численных экспериментов, приведенных в работе [9].

Выводы

Описанная в работе методика расчета пластин с учетом наличия дефектов, позволяет выполнять расчеты тонких пластинок из начально-изотропного материала чувствительного к виду напряженного состояния с учетом повреждаемости в форме трещины нормального отрыва. Результаты проведенных исследований подтверждают, что учет эффекта разнотвердости является весьма важным для задач механики твердого тела при рассмотрении задач разрушения элементов конструкций. Показано, что учет чувствительности к виду напряженного состояния оказывает весьма существенное влияние на параметры напряженно-деформированного состояния в зоне развития трещины нормального отрыва, вблизи кончика трещины. Материалы данной статьи могут дать новую информацию о разрушении твердых тел и очевидно будут полезны для изучения процессов разрушения разнотвердых материалов.

Библиографический список

1. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. – Москва-Тула: РААСН – ТулГУ, 2016. – 328 с.
2. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности разнотвердых материалов / А.А. Трещев. – Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.

3. Матченко, Н.М. Определяющие соотношения изотропных разнотвердых сред. Ч. 2. Нелинейные соотношения / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников, А.А. Трещев // Изв. РАН. МТТ. – 1999. – № 4. – С. 87–95.

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

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

6. Березин, А.В. Сопротивление деформированию и разрушению изотропных графитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.В. Березин, Е.В. Ломакин, В.И. Строков, В.Н. Барабанов // Пробл. прочности. – 1979. – №2. – С. 60–65.

7. Березин, А.В. Трещины поперечного и продольного сдвига в разномодульных дилатирующих средах / А.В. Березин, П.Л. Пономарев // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 2002. – №3. – С. 127–135.

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

9. Березин, А.В. Влияние повреждений на деформационные и прочностные характеристики твердых тел. / А.В. Березин. – М.: Наука, 1990. – 134 с.

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

11. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчета плит и оболочек с усложненными свойствами / В.Г. Теличко, А.А. Трещев // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – № 5 (533). – С. 17–23.

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

13. Бахвалов, Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) / Н.С. Бахвалов – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». – 1975. – 632 с.

14. Варвак, П.М. Метод сеток в задачах расчёта строительных конструкций / П.М. Варвак, Л.П. Варвак. – М.: Стройиздат. – 1977. – С. 160.

15. Варвак, П.М. Справочник по теории упругости (для инженеров-строителей) / П.М. Варвак, А.Ф. Рябова – Киев: «Будівельник». – 1971. – С. 418.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 19.04.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 19.04.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.

Научная статья

УДК 378.146 : 378.147

ГРНТИ: 14.35.09: Методика преподавания учебных дисциплин в высшей профессиональной школе

doi:10.51608/26867818_2022_3_75

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ ПО УРОВНЮ ПЛОТНОСТИ МЕЖПРЕДМЕТНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ОЦЕНОК

© Автор 2022

SPIN: 6396-2756

AuthorID: 524983

ORCID: 0000-0002-7546-661X

ScopusID: 7005769656

ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич

доктор технических наук, профессор, кафедра «Математика
и моделирование»

*Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I*

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: pv39@mail.ru)

Аннотация. Предложена методика оценивания качества знаний выпускников вуза, как составной части качества образовательного процесса. За критерий качества знаний принят уровень плотности корреляционной связи между итоговыми оценками изученных дисциплин. Исходными данными для расчета коэффициентов корреляции выступают массивы итоговых семестровых экзаменационных оценок студентов по блокам дисциплин, имеющих предметную связь. Построение расчетного алгоритма выполнено с помощью ПП Excel. В основу его построения положен корреляционный анализ. Рассмотрен пример оценивания корреляционной связи между оценками по дисциплинам математического блока и блока, включающего математические и специальные дисциплины. Проведен анализ реальных данных подготовки бакалавров направления информатика и вычислительная техника, путем сравнения результатов расчета коэффициентов корреляции. Установлена в данном примере низкая плотность корреляционной связи между блоком математических дисциплин и блоком специальных дисциплин.

Ключевые слова: образовательный процесс, знания, корреляционный анализ, оценивание, коэффициент корреляции, оценка, выпускник вуза

Для цитирования: Герасименко П.В. Методика оценивания качества знаний выпускников вузов по уровню плотности межпредметных корреляционных связей экзаменационных оценок // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 75-78. doi:10.51608/26867818_2022_3_75.

Original article

METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF GRADUATES KNOWLEDGE BY THE LEVEL OF DENSITY OF INTER-METH CORRELATION RELATIONSHIPS OF EXAMINATION ASSESSMENTS

© The Author(s) 2022

GERASIMENKO Petr Vasilyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematics and Modeling
St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

(Russia, Saint Petersburg, e-mail: pv39@mail.ru)

Annotation. A methodology for assessing the quality of knowledge of university graduates as part of the quality of the educational process has been proposed. The criterion for knowledge quality is the level of density of the correlation relationship between the final assessments of the studied disciplines. The initial data for calculating correlation coefficients are arrays of final semester examination grades of students by blocks of disciplines with a subject connection. The calculation algorithm was built using the Excel app. Its construction is based on correlation analysis. An example of estimating the correlation relationship between the assessments in the disciplines of a mathematical block and a block including mathematical and special disciplines is considered. Analysis of real data of bachelor training in computer science and computer engineering was carried out by comparing the results of correlation coefficient calculation. The low density of the correlation relationship between the block of mathematical disciplines and the block of special disciplines is shown.

Keywords: educational process, knowledge, correlation analysis, assessment, correlation coefficient, evaluation



For citation: Gerasimenko P.V. Methods for assessing the quality of graduates knowledge by the level of density of inter-meth correlation relationships of examination assessments // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 75-78. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_75.

Все последние годы проблема совершенствования подготовки кадров в вузах находится в центре внимания российского общества и ждет своего решения [1-3]. Острота проблемы сегодня подтверждена сообщением РИА Новости от 11 апреля 2022 года, в котором на основании проведенного опроса в 381 населённом пункте России среди 1600 совершеннолетних граждан, за отказ от бакалавриата и магистратуры поддерживают 66% россиян. За систему высказался лишь каждый десятый. Отстаивают традиционную систему, то есть специалитет, с обучением в течение 5 лет 72% респондентов старше 45 лет, а россияне, имеющие высшее образование составили 73%.

Необходимость реформы усилилась в последнее время, когда в стране принято решение постепенно уходить от болонской системы. Как сообщалось 25 мая 2022 года в пресс-службе Минобрнауки РФ, уход из системы обусловлен тем, что необходимо сфокусироваться на создании и разработке личной системы образования. Появляется не мало прогнозов и сценариев будущей образовательной системы, где значительное место отводится повышению качества образовательного процесса. Как известно, эффективное управление качеством образования возможно лишь на основе применения корректных оценочных процедур, в свою очередь корректность оценки определяется качеством измерительных исходных материалов. Следовательно, остро стоит вопрос создания методик оценки реального состояния образовательного процесса.

Велика роль в этом решении принадлежит методике оценивания качества знаний, получаемых в современных вузах студентами в течении всего учебного процесса, как составной части образовательного процесса [4-5]. Формирование бакалавра, магистра и специалиста в инженерном вузе можно по аналогии сравнить со строительством здания. Если предположить, что для будущего здания необходим выбор местности для его размещения, строительство фундамента, стен и заполнение построенного здания необходимым оборудованием, то по аналогии образовательный процесс в инженерном вузе должен на основе знаний математики, полученной в школе, формировать знания дисциплин математического, инженерного и специального блоков.

Как известно, местность может быть болотистая, твердая грунтовая и скалистая. Если студент, поступивший в вуз имеет за ЕГЭ по математике от 27 до 40 баллов, то в строительстве можно трактовать по аналогии, что выбор осуществлен болотистой местности. Создав фундамент на такой местности,

или изучив математические дисциплины в вузе с соответствующим уровнем знаний элементарной математики, следует ожидать в строительстве постоянные ремонты, а в вузе – на выходе не творца, а ремесленника. Очевидно, между показателями этапов строительства существует тесная связь, как и между оценками ряда дисциплин, связанных предметно. Математически такую связь можно оценить с помощью корреляционного анализа.

Поэтому для исследования качества знаний, полученных студентами в вузе, предлагается формировать выборки статистических данных, в виде оценок студентов по дисциплинам, которые группируются в блоки. В качестве блоков могут выступать математические, или инженерные, или специальные дисциплины, а также их комбинации. Важно при этом, что бы предмет одной дисциплины был базовым для другой, или последующая дисциплина использовала предыдущей предмет. За критерий качества принимается степень тесноты дисциплин в блоке или между блоками. Базовым блоком в инженерном вузе является математический [6-7]. Обобщенным показателем степени тесноты между дисциплинами блока может выступать средний коэффициент корреляции. Его можно рассматривать как индекс.

Для дальнейшего описания методики введены следующие обозначения и их смысл. Обобщая изложенное, в дальнейшем выборка будет включать оценки n студентов, которые пронумерованы от 1 до n . Текущее значение номера обозначено через i , где $i=(1,2,...,n)$, а оценку i -го студента через x_i . Каждая дисциплина имеет номер j , где $j=(1,2,...,m)$. Тогда оценка i -го студента за дисциплину за номером j примет обозначение через x_{ij} . Таким образом, число оценок в блоке будет включать величину $N=nxm$. Тесноту каждой пары из двух дисциплин с номер $i=k$ и $j=s$ можно измерить с помощью коэффициента корреляции, вычисленного по формуле:

$$r_{ks} = \overline{x_k x_s} - \overline{x_k} \cdot \overline{x_s},$$

где $\overline{x_k} = \sum_{i=1}^n x_{ik} \frac{1}{n}$ – является выборочной средней

оценкой k -й дисциплины; $\overline{x_s} = \sum_{i=1}^n x_{is} \frac{1}{n}$ – является выборочной средней оценкой s -й дисциплины;

$\overline{x_k x_s} = \sum_{i=1}^n x_{ik} x_{is} \frac{1}{n}$ – является выборочным средним произведением выборочной оценки k -й дисциплины и выборочной оценки s -й дисциплины.

Коэффициенты корреляции обладают свойством ограниченности по величине. Поскольку рост



знаний предыдущей дисциплины не предполагает снижение знаний последующей дисциплины, то следует предполагать интервал изменения коэффициента корреляции r_{ks} для линейной связи двух дисциплин от 0 до 1. Выполнив расчет коэффициентов корреляции между всеми возможными парами дисциплин можно построить матрицу корреляции, которая будет характеризовать уровни связей между дисциплинами блока. Сумма все коэффициентов, разделенная на их число равна среднему коэффициенту корреляции блока исследуемых дисциплин. Число элементов матрицы зависит от решаемой задачи. В случае оценки качества знаний одного блока, включающего m дисциплин, каждая из которых представляла оценки n студентов, число элементов матрицы будет равно $h_1 = m \times (m-1) / 2$. При построении матрицы коэффициентов корреляции, характеризующих тесноту связи между дисциплинами двух блоков, из которых первый блок содержит дисциплин m_1 , а второй m_2 , при числе студентов n в обоих блоках, число элементов матрицы $h_2 = m_1 \times m_2$. Тогда средний коэффициент корреляции можно вычислить по формуле:

$$R = \sum_{k=1}^{m_2} \sum_{s=1}^{m_1} r_{ks} \cdot \frac{1}{h_2}$$

Для всех приведенные величин в пакете программы Excel существуют расчетные алгоритмы [8]. Используя их и исходные данные бакалавров направления информатика и вычислительная техника, которые приведенные в работе [9], выполнены расчеты матриц коэффициентов корреляции (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1. Корреляционная матрица математических дисциплин

Блок математических дисциплин	Математическая логика	Алгебра и геометрия	Математический анализ	Вычислительная математика	Теория вероятностей	Дискретная математика
Математическая логика	1,00					
Алгебра и геометрия	0,34	1,00				
Математический анализ	0,26	0,61	1,00			
Вычислительная математика	0,47	0,25	0,26	1,00		
Теория вероятностей	0,50	0,71	0,62	0,40	1,00	
Дискретная математика	0,43	0,69	0,66	0,49	0,81	1,00

Таблица 2. Корреляционная матрица математических и специальных дисциплин

Блок математических дисциплин	Математическая логика	Алгебра и геометрия	Математический анализ	Вычислительная математика	Теория вероятностей	Дискретная математика
Программная инженерия	0,59	0,13	0,27	0,76	0,48	0,51
Техн. программирования	0,32	0,22	0,20	0,83	0,38	0,46
Основы теории управления	0,47	0,16	0,33	0,79	0,35	0,45
Объектно-ориентированное программирование	0,47	0,18	0,18	0,60	0,58	0,40
Схемотехника ЭВМ	0,53	0,08	0,06	0,56	0,37	0,24
Операционные системы	0,45	0,20	0,14	0,67	0,51	0,41
Программирование в графических средах	0,50	0,13	0,12	0,48	0,48	0,27
Основы сетевых технологий	0,62	0,37	0,20	0,56	0,52	0,49
Управление данными	0,55	0,21	0,21	0,47	0,49	0,45
Системное ПО	0,51	0,23	0,11	0,52	0,54	0,29
Надежность вычислительных систем	0,59	0,36	0,26	0,59	0,54	0,46

Анализ результатов расчетов, представленных в табл. 1 и табл. 2 свидетельствует о низком уровне тесноты, как между дисциплинами математического блока, так и в блоке между математическими и специальными дисциплинами.

Средние коэффициенты корреляции между дисциплинами математического блока и в блоке между математическими и специальными соответственно равны 0,47 и 0,38. Если следовать результатам многих работ, посвященных влиянию школьной математики на изучение специальных дисциплин в разных вузах, то уровень полученных знаний по специальным дисциплинам, которые исследованы в данной работе, является достаточно низкими, что и подтверждается работами [10-11].

Библиографический список

1. Виноградов Б. А. Системный подход к оценке качества подготовки кадров для ОПК. / Виноградов Б. А., Пальмов В. Г., Мещерякова Г. П //Иновация. № 10(192). 2014. С. 70-79.
2. Поличка А. Е. Особенности проектирования инновационной инфраструктуры подготовки кадров информатизации региональной системы образования в условиях функционирования информационно-коммуникационной предметной среды: Монография. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. 86 с.
3. Изосимова, Т. Н. Компетентностный подход как гарантия качества подготовки современных специалистов в области IT-технологий / Т. Н. Изосимова, Л. В. Рудикова //



Научные труды Академии управления при Президенте Республики Беларусь. Вып.1 (2001). – Минск: Академия управления при Президенте Респ. Беларусь, 2014. С. 202-209.

4. Ганичева А. В. Математическая модель оценки качества обучения / А. В. Ганичева // В мире научных открытий. 2015. № 6.1 (66). С. 313-326.

5. Ганичева А. В. Оценка эффективности процесса обучения / А. В. Ганичева // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2011. № 2. С. 134-1373.

6. Уразаева Л. Ю., Дацун Н. Н. Проблемы математического образования и их решение // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2015. № 3 (30). С. 57-63.

7. Русаков А. А. Методологические проблемы обучения математике. – Материалы Международной научно-практической конференции «Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы» (10-13 мая 2017 г.). – Минск; Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка. – 2017. С.17-23.

8. Гайдаржи Г. Х. Математическому образованию – развивающую направленность / Гайдаржи Г. Х., Герасименко П. В., Шинкаренко Е. Г. // Сборник трудов IV Между-

народной научно-методической конференции. Перспективы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании. – Санкт-Петербург, 2017 – С. 37-40

9. Вертешев С. М. Моделирование зависимости показателей знаний инженерных дисциплин от математических дисциплин при подготовке студентов по направлению ИВТ в Псковском государственном университете / Вертешев С. М., Герасименко П. В., Лехин С. Н. // Инженерное образование. 2019. № 25. С. 82-91.

10. Вертешев С.М. Роль математики и информатики в подготовке инженеров для инновационной деятельности / Вертешев С.М., Герасименко П. В., Лехин С. Н. // Перспективы развития высшей школы: материалы X Международной научно-методической конференции. - Гродно: ГГАУ, 4-5 мая 2017 г. С. 223-226.

11. Герасименко П. В. Математическое моделирование процесса изучения учебных многосеместровых дисциплин в технических вузах / Герасименко П. В., Благовещенская Е. А., Ходаковский В. А. // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. 2017, Т. 14, № 3. С. 513-522.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.06.2022; одобрена после рецензирования 07.07.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 17.06.2022; approved after reviewing 07.07.2022; accepted for publication 15.07.2022.



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67.01.09 История архитектуры и строительства. Персоналия

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

doi:10.51608/26867818_2022_3_79

К 94-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.И. СОЛОМИНА

© Автор 2022

SPIN: 5034-1480

AuthorID: 745600

ORCID: 0000-0002-9079-2667

ResearcherID: AAF-2331-2020

ПОТАПОВ Александр Николаевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Южно-Уральский государственный университет

(Россия, Челябинск, e-mail: potapov.alni@gmail.com)

Аннотация. Крупному русскому ученому специалисту в области строительной механики академику РААСН Виталию Ивановичу Соломину 16 июля 2022 года исполнилось бы 94 года. Виталий Иванович Соломин ушел из жизни 26 апреля 2020 года. В.И. Соломин внес существенный вклад в развитие методов решения актуальных задач строительной механики на основе численных методов и применения электронных цифровых вычислительных машин. Организационный талант позволил ему основать Челябинскую школу фундаментостроения. Он являлся создателем и вдохновителем многих идей, связанных с разработкой математических моделей, учитывающих нелинейные свойства железобетона и грунта, с созданием нелинейных моделей оснований с неоднородными свойствами в плане и по глубине. Разработанные В.И. Соломиным методы, программы и алгоритмы расчета фундаментных плит являлись передовыми для своего времени, предложенные им решения были взяты на вооружение многими проектными институтами города Москвы и ряда других городов и легли в основу расчетов фундаментов многих уникальных зданий и сооружений. Академик Российской Академии архитектуры и строительных наук. Награжден орденом «Знак Почета» (1981), нагрудным знаком Министерства высшего образования СССР «За отличные успехи в работе», медалью «50 лет Победы в Великой Отечественной войне». Лауреат Государственной премии СССР (1987), Делегат XIX партконференции КПСС 1988 года, Делегат XXVIII Съезда КПСС 1990 года, Почетный строитель России (1999), Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1991). Почетный выпускник УГТУ-УПИ, Почетный профессор ЮУрГУ, Почетный гражданин г. Челябинска (2000).

Для цитирования: Потапов А.Н. К 94-летию со дня рождения В.И. Соломина // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3 (18). С. 79-82. doi:10.51608/26867818_2022_3_79.

Review article

IN HONOR OF THE 94 BIRTHDAY OF V.I. SOLOMIN

© The Author(s) 2022

POTAPOV Alexander Nikolaevich

Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor

South Ural State University

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: potapov.alni@gmail.com)

Annotation. Vitaly Ivanovich Solomin, the RAACS academician, major Russian scientist in the field of construction mechanics, would have been 94 on July 16, 2022. Vitaly Solomin passed away on 26 April 2020. V.I. Solomin made a significant contribution to the development of solving actual problems of construction mechanics based on numerical methods and the use of electronic digital computers. Organizational talent allowed him to found the Chelyabinsk school of foundation construction. He was the creator and inspirer of many ideas related to the development of mathematical models considering the non-linear properties of reinforced concrete and soil, with the creation of nonlinear base models with heterogeneous properties in terms and depth. Developed by V.I. Solomin's methods, programs and algorithms for the calculation of foundation plates were advanced for that time. The proposed solutions were adopted by many Moscow design institutes and a number of other cities. They formed the basis of calculations of the foundations of many unique buildings and structures. The main activities of V.I. Solomin were non-linear problems of calculation and optimal design of foundation structures and their bases. The work of the scientific school is aimed at improving calculations and principles of construction of foundations. Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences was awarded the Order "Badge of Honor" (1981), badge of the Ministry of Higher Education of the USSR "For excellent achievements in work", medal "50 years of Victory in the Great Patriotic War". He was a laureate of the State Prize of the USSR (1987), Delegate of the XXVIII Congress of the CPSU in 1988, Honorary Builder of Russia (1999), Honored Worker of Science and Technology of the Russian Soviet Federative Socialist Republic (1991), Honorary Graduate of Ural State Technical University, Honorary Professor of SUSU, Honorary Citizen of Chelyabinsk (2000).

For citation: Potapov A.N. In honor of the 94 birthday of V.I. Solomin // Expert: theory and practice. 2022. № 3 (18). Pp. 79-82. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2022_3_79.



**Соломин В.И. (1928-2020) – Академик РААСН,
Почетный профессор Южно-Уральского государственного университета**

Основные направления деятельности В.И. Соломина: нелинейные задачи расчета и оптимального проектирования фундаментных конструкций и их оснований. Работа научной школы направлена на улучшение расчетов и принципов конструирования фундаментных конструкций. Научные разработки В.И. Соломина использовались при составлении ряда нормативных документов Госстроя СССР, для расчета фундаментов гостиниц «Националь», «Будапешт», «Белград», «Интурист» (г. Москва), зданий по ул. Кирова и ул. Цвиллинга, дома с магазином «Школьник» (г. Челябинск) и других зданий в т. ч. в г. Екатеринбург и г. Мурманске.

В.И. Соломин родился в селе Большой Миклянур Пижанского района Кировской области в 1928 году. В Челябинске живет с 1933 года. В 1952 году окончил Уральский политехнический институт (УПИ) им. С.М. Кирова в Свердловске по специальности «инженер – строитель». Почетный выпускник УПИ. В 1953 году поступил на работу в Челябинский политехнический институт (ЧПИ), на строительный факультет, который в то время только еще создавался. Первые годы работал ассистентом кафедры сопротивления материалов, которая была открыта до появления строительного факультета. Ему пришлось создавать и читать студентам-строителям курсы сопротивления материалов, строительной механики и прикладной теории упругости. При поисках направления своей научно-исследовательской работы об-

наружил, что не существует метода расчета фундаментных плит. Попытки предшественников создать такой метод не увенчались успехом. Нашел причины неудач, показал, что нагрузки, действующие на плиту, не могут быть аппроксимированы гладкими функциями. Следовательно, для расчета фундаментных плит надо привлекать не аналитические, а численные методы. Это приводило к решению систем алгебраических уравнений высоких порядков и могло быть реализовано только с помощью ЭЦВМ. Таких машин не было на Урале, поехал в Москву, где сумел установить контакты с Вычислительным центром АН СССР, составил программу и решил задачу о расчете напряженно-деформированного состояния плиты, опирающейся на упругое полупространство. Это был прорыв – таких решений до сих пор не было. Увидел, что применение ЭВМ открывало новые, широкие возможности решения задач строительной механики.

В Челябинске В.И. Соломин собрал коллектив молодых преподавателей, которых он знал еще как студентов, желавших заниматься научной работой. Провел ряд семинаров, создал несколько групп и стал предлагать задачи, решение которых представляло научный и практический интерес.

Первой группе была поставлена задача найти метод расчета прямоугольной плиты, лежащей на упругом слое. Слой считался тогда перспективной моделью грунтового основания. Работа была сде-



Одна из самых высоких в мире (H=440 м.) дымовая труба Экбастузской ГРЭС. Расчет Фундамента выполнен Сотрудниками и аспирантами кафедры строительной механики ЮУрГУ методом В.И. Соломина. Расчет был выполнен по заказу ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР.

лана, опубликована и сразу востребована. Ее авторы были приглашены институтами НИИ оснований и подземных сооружений и Моспроект-1, чтобы рассчитать фундаменты каркасных зданий: гостиницы «Интурист» и двух гостиниц на Смоленской площади, а также других зданий, которые тогда проектировались в Москве.

Другой группе было предложено создать метод расчета плиты, которая может иметь произвольную ортогональную конфигурацию, переменную толщину и взаимодействовать с каркасом здания. Она должна опираться на естественное, обычно неоднородное основание. Плита может работать, опираясь на грунт и сваи (плитно-свайное основание). Должны учитываться карстовые провалы. Это была объемная работа, ее результаты были широко востребованы проектировщиками, многих городов страны и включались в Руководящие материалы, издаваемые Госстроем СССР.

Работа следующей группы была направлена на решение проблем, возникающих при взаимодействии фундаментов и грунтовых оснований. Была построена конечно-разностная модель осесимметричного массива, где были приняты, ранее полученные физические уравнения А.И. Боткина, связывающие инварианты деформированного и напряженного состояний и была решена задача о напряженно-деформированном состоянии грунта, возникающего под действием жесткого круглого штампа. Решение этой задачи, в котором участвовали МИСИ им. В.В. Куйбышева и Гидропроект, было получено, по-видимому, впервые. Это решение далее распространено на

массив, где оказалось важным, кроме уравнений А.И. Боткина, принять нелинейные соотношения между деформациями и перемещениями. Силами кафедры строительной механики была построена установка для трехосных испытаний грунтов. Работа этой группы оказалась очень плодотворной, к ней часто обращались инженеры-практики, особенно метростроители.

Следующая работа группы Соломина В.И. была направлена на создание методов расчета круглых и кольцевых фундаментов с учетом нелинейных деформаций железобетона. При этом были использованы разработки, выполненные ранее в институте Бетона и железобетона (НИИЖБе). Были разработаны уравнения, определяющие деформации и перемещения в железобетонных осесимметричных фундаментных плитах. Показано, что нелинейные деформации и трещины сильно влияют на прочность и жесткость фундаментов. Разработаны алгоритмы и программы расчета круглых и кольцевых фундаментов сооружений башенного типа и методы их оптимального проектирования. Эта работа привлекла внимание института ВНИПИТеплопроект и Минмонтажспецстроя СССР, потому что расчеты показывали, что выполненные в ВНИПИТеплопроект фундаменты, обладают чрезмерным количеством рабочей арматуры. Это было следствием несовершенства того метода расчета, которым пользовались проектировщики. В дальнейшем ВНИПИТеплопроект поручал расчет арматуры представителям группы Соломина В.И. С применением разработанных программ были спроектированы десятки фундаментов дымо-



вых труб, высота которых достигала 440 метров. Все-гда это приводило к экономии рабочей арматуры и улучшения качества проекта в целом. Часть этих ма-териалов включена в Руководство по оптимальному проектированию, изданному НИИЖБом.

В 1961 г. В.И. Соломин защитил кандидатскую диссертацию «Расчет прямоугольных плит на упругом полупространстве методом сеток», а в 1976 г. доктор-скую на тему «Исследование работы и методы расчета железобетонных фундаментных плит и балок». В 1977 г. утвержден в ученном звании профессора.



Профессор В.И. Соломин работал в ЧПИ – ЮУрГУ более 63 лет. Он был одним из основателей Инженерно-строительного факультета, организовал и 35 лет возглавлял кафедру строительной механики, был любимым преподавателем у студентов. Был деканом Инженерно-строительного факультета, про-ректором института по научной работе. Подготовил 20 кандидатов технических наук, из которых впо-

следствии 3 стали докторами наук. Эти ученые рабо-тают во многих городах России и за ее пределами - в Канаде, Новой Зеландии, США. Им опубликовано бо-лее 120 научных работ, в т. ч. две монографии.

Виталий Иванович занимался не только наукой. Его интересовали сферы общественной, по-литической, культурной жизни. Он любил театр, му-зыку, живопись, литературу, поэзию, спорт и многое другое. Особая любовь к Пушкину. Виталий Ивано-вич хорошо знал поэзию и XIX, и XX веков.

В 2015 году Виталием Ивановичем издана уникальная книга «Соломины. Родословная» в коли-честве восьми экземпляров, которая хранится в се-мье. В книге говорится о том, что Соломины ведут свой род от князя Мича (Селема Мичкин), владельца Верхней Земли Перми Великой со столицей в Искоре (2-я половина 15 века).

В 2019 году, когда он уже не мог заниматься наукой из-за проблем со зрением и сложностью ра-боты на компьютере, он написал и выпустил авто-биографическую книгу «Моя жизнь». Обладая боль-шим литературным даром, он сумел в простой и за-нимательной форме рассказать в этой книге о своей жизни, семье, о студенчестве и профессиональной деятельности, о своих учениках и коллегах.

Библиографический список

1. Соломин, В. И. Гибкие фундаментальные кон-струкции // Научные школы ЮУрГУ. История развития / под ред. А.Л. Шестакова, Г.П. Вяткина; ред.-сост. О.В. Антонова; Юж.-Урал. гос. ун-т. – Челябинск, 2008. – С. 307–320.
2. Юбилейный сборник, посвященный 50-летию со-здания кафедры «Строительная механика» (1966–2016) Южно-Уральского государственного университета [Элек-тронный ресурс] / редкол.: А.Н. Потапов и др. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 128 с. – URL: https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_HIS-TORY&key=000552897&dtype=F&etype=.pdf
3. Виталию Ивановичу Соломину - 90 лет // Строи-тельная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 5(280). – С. 74. – EDN UZLDNA.
4. Соломин Виталий Иванович / А.Н. Потапов // Ил-люстрированная библиографическая энциклопедия в 6 то-мах: Наука и техника России. XX век (Серия НПО: Новый ле-тописец Отечества). – Уфа: ООО «Веки», 2018. – т. 1. – 2018. – С. 260.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.04.2022; принята к публикации 15.07.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 25.04.2022; accepted for publication 15.07.2022.

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.

(подводится итог статьи, указываются результаты, к которым пришли в результате проведенного исследования)

Перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.

(указываются направления, по которым необходимо провести дальнейшие исследования)

3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (не проверяется на антиплагиат).

(рекомендуется в списке литературы не менее 15 источников, 5 из которых за последние 5 лет (в 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

Электронный научно-практический журнал

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 3 (18) 2022 г.

Главный редактор - Мурашкин Василий Геннадьевич,
кандидат технических наук, АНО "ИССТЭ", Тольятти

Electronic Scientific and Practical Journal

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 3 (18) 2022

Editor-in-Chief - Murashkin Vasily Gennadievich,
Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Материалы представлены в авторской редакции
Компьютерная верстка О.В. Егоровой
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Подписано для публикации на сайте <http://expert763.ru> 05.08.2022.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 10,23.
Электронные текстовые данные (25,20 Мб). Распространяется бесплатно.

Учредитель, издатель и редакция журнала - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401,
+7(8482)539010, <http://expert763.ru>, expert763@mail.ru.

