

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2025, №2 (29)

СЕТЕВОЕ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ИЗДАНИЕ

*Expert:
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель

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

Издаётся с 2019 г. Выходит 4 раз в год.

е-ISSN: 2782-74445; префикс DOI: 10.51608/26867818

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

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

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

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



©2025 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 Владilen Васильевич – председатель редакционного совета, академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
АКИМОВ Павел Алексеевич – академик РААСН, профессор, доктор технических наук, ректор Московского государственного строительного университета

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЛЯЧЕНКОВ Николай Васильевич – лауреат Государственной премии Совета министров СССР, Почетный гражданин г.о.

Тольятти, действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

МАИЛЯН Левон Рафаэлович – академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Россия)

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

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

СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук; директор, профессор кафедры судебной экспертизы, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

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

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

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

Адрес редакции: 445047 Самарская область, г. Тольятти,

Южное шоссе, дом 35А, офис 401, e-mail: expert763@mail.ru; <http://expert763.ru>

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

Published since 2019. Published 4 times a year.
e-ISSN: 2782-7445; prefix DOI: 10.51608/26867818

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

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

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

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



© 2025 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Andrey N. SOROCHAIKIN – Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; Director, Professor of the Department of Forensic Examination, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук; директор, профессор кафедры судебной экспертизы АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

МИРСАЯПОВ Илизар Талгатович – член-корреспондент РААСН, 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)

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

НИЗИНА Татьяна Анатольевна – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, директор Института архитектуры и строительства, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Staff:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tatyana A. NIZINA – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof., Director of the Institute of Architecture and Construction, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРСОНАЛИИ

Поздравление Ведякова Ивана Ивановича с избранием членом-корреспондентом РААСН	10
--	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТОВ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ АНПИЛОВ Сергей Михайлович, ПАНФИЛОВ Денис Александрович, БЫЧКОВ Александр Сергеевич.....	13
Влияние минеральных добавок на плотность и прочность неавтоклавного пенобетона БАРТЕНЬЕВА Екатерина Анатольевна, МЕДВЕДЕВ Евгений Романович	20
Влияние добавки СВВ-500 на структуру древесно-гипсового композитного материала ГОРОХОВ Тимофей Иванович, ЕРОФЕЕВ Александр Владимирович, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович, ЕЗЕРСКИЙ Валерий Александрович, КОВАЛЕВ Никита Святославович.....	26
Влияние битумной эмульсии на деформативную способность асфальтобетонной смеси при регенерации асфальтогранулята ЗАРАПИНА Любовь Сергеевна, АНДРИАНОВ Константин Анатольевич, ЗУБКОВ Анатолий Федорович, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович.....	31
Повышение долговечности арболитобетонных композитов методом пропитки жидкой серой ИСАКУЛОВ Баизак Разакович, АКУЛОВА Марина Владимировна	39
Хлоридная агрессия и восстановление железобетонных конструкций МОЛОДИН Владимир Викторович, ИЛЬИНА Лилия Владимировна, ГЛОТОВА Анна Валерьевна	46
Анализ методов определения коэффициента диффузии и глубинного показателя для прогнозирования процесса деградации материала в водных растворах агрессивных сред СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, БЕЗРУКОВА Евгения Сергеевна, БАБУШКИНА Дельмира Рафиковна, АРХИПОВ Игорь Владимирович	52
Сопrotивление наклонных сечений железобетонных балок с композитной поперечной арматурой ТАМОВ Мурат Мухамедович.....	57

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Сравнение осадок двуслойного основания под подошвой жесткого фундамента с изменяемыми параметрами грунтов и учетом касательных напряжений между ними КОЗУНОВА Оксана Васильевна, ПУСЕНКОВ Анатолий Григорьевич.....	62
---	----

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА В ЭПОХУ ПРОСВЕЩЕНИЯ РАХИМОВ Равиль Зуфарович, РАХИМОВА Наила Равилевна.....	67
---	----

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

КРАТКИЕ ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, НИЗИНА Татьяна Анатольевна, БОГАТОВ Андрей Дмитриевич	75
--	----

ЮБИЛЕЙ НГАСУ (СИБСТРИН)

95 лет НГАСУ (Сибстрин)	80
-------------------------------	----

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ» НА КАФЕДРЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ НГАСУ (СИБСТРИН)

ГРЕБЕНЮК Григорий Иванович, ВЕШКИН Максим Сергеевич	83
---	----

НАУЧНАЯ ШКОЛА «ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ» ФГБОУ ВО «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» «СИБСТРИН»

ИЛЬИНА Лилия Владимировна	92
---------------------------------	----

СИБИРСКАЯ ШКОЛА ДИНАМИКИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

ЛИНОВСКИЙ Станислав Викторович	96
--------------------------------------	----

НАУЧНАЯ ШКОЛА ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ В СИБСТРИНЕ

МОЛОДИН Владимир Викторович	102
-----------------------------------	-----

ЛАБОРАТОРИЯ ФОТОУПРУГОСТИ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ НГАСУ (СИБСТРИН)

ТАБАНИУХОВА Марина Владимировна, ХАРИНОВА Наталья Владимировна	111
--	-----

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ КАФЕДРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НГАСУ (СИБСТРИН)

ШАФРАЙ Константин Анатольевич, ПУРТОВ Вячеслав Васильевич, Шведов Владимир Николаевич	118
--	-----

Поздравляем победителей профессиональных конкурсов 2024 года	124
--	-----

Условия размещения материалов	129
-------------------------------------	-----

CONTENT

PERSONALITIES

CONGRATULATIONS TO VEDYAKOV IVAN IVANOVICH ON HIS ELECTION AS A CORRESPONDENT MEMBER OF RAACS	10
---	----

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

REVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN NORMATIVE DOCUMENTS, RESEARCH PAPERS AND COMPARISON OF STEEL REINFORCED CONCRETE SLAB CALCULATION METHODS ANPILOV Sergey Mikhailovich, PANFILOV Denis Alexandrovich, BYCHKOV Alexander Sergeevich	13
THE EFFECT OF MINERAL ADDITIVES ON THE DENSITY AND STRENGTH OF NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE BARTENJEVA Ekaterina Anatol'evna, MEDVEDEV Evgenii Romanovich	20
THE INFLUENCE OF THE ADDITIVE SVV-500 ON THE STRUCTURE OF WOOD-GYPSUM COMPOSITE MATERIAL GOROKHOV Timofey Ivanovich, YEROFEYEV Alexander Vladimirovich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich, YEZERSKY Valery Aleksandrovich, KOVALEV Nikita Svyatoslavovich.....	26
THE EFFECT OF BITUMEN EMULSION ON THE DEFORMABILITY OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE DURING ASPHALT GRANULATE REGENERATION ZARAPINA Lyubov Sergeevna, ANDRIANOV Konstantin Anatolyevich, ZUBKOV Anatoly Fedorovich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich	31
INCREASING THE DURABILITY OF ARBOLITE CONCRETE COMPOSITES BY IMPREGNATION WITH LIQUID SULFUR ISAKULOV Baizak Razakovich, AKULOVA Marina Vladimirovna.....	39
CHLORIDE AGGRESSION AND REHABILITATION OF REIN-FORCED CONCRETE STRUCTURES MOLODIN Vladimir Victorovich, ILYINA Lilia Vladimirovna, GLOTOVA Anna Valeryevna	46
ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENT AND DEPTH INDICATOR FOR THE PREDICTION OF MATERIAL DEGRADATION PROCESS IN AQUA SOLUTIONS OF AGGRESSIVE MEDIA SELYAEV Vladimir Pavlovich, BEZRUKOVA Evgeniya Sergeevna, BABUSHKINA Delmira Rafikovna, ARKHIPOV Igor Vladimirovich	52
RESISTANCE OF OBLIQUE SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH COMPOSITE CROSS-SECTION REINFORCEMENT TAMOV Murat Mukhamedovich.....	57

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

COMPARISON OF SETTLEMENT OF A TWO-LAYER FOUNDATION UNDER THE BASE OF A RIGID FOUNDATION WITH VARIABLE SOIL PARAMETERS AND CONSIDERING THE TANGENTIAL STRESSES BETWEEN THEM KOZUNOVA Oksana Vasilyevna, PUSENKOV Anatoly Grigorievich	62
--	----

EXPERT OPINION

MATERIALS SCIENCE, MATHEMATICS AND PHYSICS IN THE AGE OF THE ENLIGHTENMENT RAKHIMOV Ravil Zufarovich, RAKHIMOVA Naila Ravilevna.....	67
--	----

CONFERENCE MATERIALS

SUMMARY OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE "DURABILITY OF BUILDING MATERIALS, PRODUCTS AND STRUCTURES" SELYAEV Vladimir Pavlovich, NIZINA Tatiana Anatolyevna, BOGATOV Andrey Dmitrievich.....	75
--	----

ANNIERSARY OF NSUACE (SIBSTRIN)

95 YEARS OF NSUACE (SIBSTRIN)	80
HISTORY OF DEVELOPMENT OF THE DIRECTION OF RESEARCH ACTIVITIES "CALCULATION OF STRUCTURES" AT THE DEPARTMENT OF STRUCTURAL MECHANICS OF NSUACE (SIBSTRIN) GREBENYUK Grigory Ivanovich, VESHKIN Maksim Sergeevich.....	83
SCIENTIFIC SCHOOL "THEORY AND TECHNOLOGY OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON TECHNOGENIC RAW MATERIALS" NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING (SIBSTRIN) ILYINA Lilia Vladimirovna	92
SIBERIAN SCHOOL OF FOUNDATIONS DYNAMICS LINOVSKY Stanislav Viktorovich	96
SIBSTRIN SCIENCE SCHOOL OF WINTER CONCRETING MOLODIN Vladimir Victorovich.....	102
LABORATORY OF PHOTOELASTICITY OF THE DEPARTMENT OF STRUCTURAL MECHANICS OF NSUACE (SIBSTRIN) TABANYUKHOVA Marina Vladimirovna, KHARINOVA Natalia Vladimirovna	111
SCIENTIFIC SCHOOL OF THE DEPARTMENT OF METAL AND WOODEN STRUCTURES OF NSUACE (SIBSTRIN) SHAFRAY Konstantin Anatolyevich, PURTOV Vyacheslav Vasilyevich, SHVEDOV Vladimir Nikolaevich.....	118
CONGRATULATIONS TO THE WINNERS OF 2024 PROFESSIONAL COMPETITIONS	124
<i>Conditions for posting materials</i>	129

ПЕРСОНАЛИИ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ ВЕДЯКОВА ИВАНА ИВАНОВИЧА С ИЗБРАНИЕМ ЧЛЕНОМ-КОРРЕСПОНДЕНТОМ РААСН

Редакционный совет, редакционная коллегия сетевого научно-практического издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» сердечно поздравляют члена редакционной коллегии издания ВЕДЯКОВА ИВАНА ИВАНОВИЧА с избранием в члены-корреспонденты РААСН, желают крепкого здоровья, благополучия, успехов и творческого долголетия!



ВЕДЯКОВ Иван Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), академик Российской Инженерной Академии, академик Национальной Академии наук пожарной безопасности, лауреат премий Правительства РФ в области науки и техники, Почетный строитель России, Заслуженный строитель России, президент Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), директор Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», главный редактор научно-технических журналов «Строительная механика и расчет сооружений», «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», член редколлегии научных изданий «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» и «Промышленное и гражданское строительство».

«Промышленное и гражданское строительство».

Родился 31 января 1959 г. в Республике Мордовия. В 1982 году окончил факультет «Промышленное и гражданское строительство» Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева. С 1982 года по 1985 год работал в СМУ-1 треста «Особстрой-2» Главмособлстроя в должностях мастера, прораба. В 1985 году поступил на работу в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР, где работает по настоящее время. В 1990 году после учебы в аспирантуре защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, а в 2000 году – диссертацию на тему «Выявление резервов несущей способности стальных строительных конструкций на основе совершенствования методов их расчета и рационального применения современных ма-



териалов» на соискание ученой степени доктора технических наук. С 2002 года по совместительству стал преподавателем кафедры ПГС Электростальского политехнического института – филиала Московского института стали и сплавов (с 2015г. филиал МАМИ) в должности профессора. В феврале 2008 года Ведякову И.И. Высшим Аттестационным Комитетом Министерства образования и науки Российской Федерации присвоено ученое звание «профессор».

За годы работы в институте зарекомендовал себя высококвалифицированным специалистом в области разработки норм, методов расчетов, проектирования и обследования строительных металлических конструкций, металловедения и сварки.

Ведяковым Иваном Ивановичем разработаны новые методы расчета стальных изгибаемых элементов и стоек (колонн), принципы оценки конструктивной прочности проката с учетом структуры материала, на основе анализа механизмов упрочнения стали установлены пути одновременного повышения прочности и сопротивления хрупкому разрушению проката и элементов конструкций. Разработаны физико-технологические способы повышения трещиностойкости стального проката, физические основы перехода элементов стальных конструкций из вязкого состояния в хрупкое. Созданы и применены в строительных конструкциях принципиально новые стали с композитной структурой, микролегированные, упрочненные методами термической обработки, с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами, обеспечивающие надежную работу материала в несущих массовых и уникальных сооружениях и в высотном строительстве, в том числе при экстремальных условиях (низкие температуры, динамические нагрузки, высокие огневые воздействия и т.д.).

Разработаны принципы сохранения и использования сталей производства начала XX века при реставрации и восстановлении объектов культурного наследия федерального значения.

Под руководством Ведякова И.И. решена задача разработки состава и патентоспособной технологии производства легких гранулированных пористых заполнителей для бетонов, плитного конструкционного материала из дешевых и распространенных кремнистых пород (диатомита, трепела и др.), аналогичных гранулированному пеностеклу, но с более низкой себестоимостью производства и относительно невысокими затратами.

При непосредственном участии и руководстве Ведякова И.И. впервые разработана и внедрена комплексная система научно-технического сопровождения возведения уникальных зданий и сооружений, направленная на обеспечение их эксплуатационной надежности и экономической эффективности.

Ведяков И.И. принимал личное участие и возглавлял работы по обследованию и реконструкции корпусов Государственного космического центра им. М.В. Хруничева, корпусов АЗЛК (объединение «Автофрамос»), Останкинской телебашни после пожара, плавучей платформы «Hutton» для добычи нефти в морской акватории Северного Ледовитого океана, скульптурной композиции «Рабочий и колхозница», монумента «Покорителям космоса» на Проспекте Мира, памятника Петру I, зданий и сооружений на территории ВВЦ (ВДНХ), комплекса старинных церквей «Зарядье», Шуховской телебашни, Богучанской ГЭС после аварии и многих других объектов.

При непосредственном участии и руководстве Ведякова И.И. осуществлялись работы по научно-техническому сопровождению проектирования, изготовления и монтажа высотных зданий ММДЦ «Москва-Сити», реконструируемого аэропорта Шереметьево-2, большепролетного светопрозрачного покрытия «Старого Гостиного Двора», высотных зданий в Екатеринбурге и Казани, комплекса зданий Дальневосточного Федерального университета на о. Русский (г. Владивосток), зданий и сооружений выставочного комплекса «Крокус-Экспо», торгово-развлекательных комплексов «Вегас-1» и «Вегас-2» ЗАО «Крокус», спортивных сооружений Универсиады-2013 в Казани, зданий и сооружений для Олимпиады 2014 г. в Сочи, спортивных стадионов к Чемпионату Мира по футболу 2018 года в Российской Федерации и многих других объектов в Москве и регионах России.

Ведяков И.И. руководил работами по научно-техническому сопровождению проектирования и изготовления конструкций стадионов «Динамо» и «Спартак» в Москве, Краснодаре и Саранске, по научно-техническому сопровождению проектирования стадионов для чемпионата мира по футболу 2018 в городах Самаре, Волгограде, Ростове и Калининграде.

Результаты научных исследований и разработок Ведякова И.И. нашли применение в строительстве, опубликованы более чем в 160 статьях, учебных пособиях и пяти монографиях, им получены четыре патента на изобретения.

В декабре 2008 года Ведяков И.И. избран Советником Российской академии архитектуры и строительных наук, в марте 2009 года – действительным членом Петровской академии наук и искусств, в мае 2012 года – действительным членом Российской инженерной академии, в 2014 году – действительным членом Национальной академии наук пожарной безопасности.

Ведяков И.И. участвует в обучении студентов строительных специальностей, являясь профессором кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Электростальского политехнического ин-



ститута – филиала Московского автомеханического института, а также в подготовке кадров высшей квалификации. Под его научным руководством успешно защищены одна докторская и четыре кандидатские диссертации. Ведяков И.И. является членом специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальности «Строительные конструкции, здания и сооружения» при АО «НИЦ «Строительство», МГСУ.

Ведяков И.И. награжден серебряной медалью ВДНХ, медалью «В память 850-летия Москвы», зна-

ком «Почетный строитель России» (2002 г.), памятной медалью за участие в реконструкции Останкинской телебашни после пожара (2007 г.), памятной медалью за участие в реконструкции скульптурной композиции «Рабочий и колхозница» (2008 г.), золотой медалью международной выставки «Металл-Экспо» (2012 г.), медалью МЧС «Отвага. Мужество. Честь» (2012 г.), памятной медалью Минрегиона России «Строителю объектов Саммита АТЭС» (2012 г.), дважды лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (2012, 2018 г.).

**CONGRATULATIONS TO VEDYAKOV IVAN IVANOVICH ON HIS ELECTION
AS A CORRESPONDENT MEMBER OF RAACS**

Editorial council and editorial board of the online scientific-practical publication "EXPERT: THEORY AND PRACTICE" sincerely congratulate editorial board member VEDYAKOV IVAN IVANOVICH on the election as correspondent member of RAACS. We extend our best wishes for health, prosperity, success, and creative longevity!

Обзорная статья

УДК 691.5

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_13

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТОВ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

© Авторы, 2025

SPIN: 1041-9513

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель РФ,
советник РААСН, д.т.н., профессор кафедры ЖБК
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет «Сибстрин»*
(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@yandex.ru)

SPIN: 4238-7371

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЖБК
Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: panda-w800i@yandex.ru)

БЫЧКОВ Александр Сергеевич

аспирант
Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара, e-mail: islezrbs@gmail.com)

Аннотация. Сталежелезобетонные плиты по профилированному настилу пользуются популярностью, поскольку сочетают в себе конструктивную эффективность и скорость возведения, предлагая экономичное решение для широкого спектра типов зданий. В современном строительстве сталежелезобетонные плиты перекрытий являются одним из наиболее распространенных элементов конструкций. Для обеспечения их надежности и эффективности необходимо руководствоваться соответствующими нормативными документами и методиками расчетов.

В данной статье рассмотрен обзор зарубежных нормативных документов по проектированию сталежелезобетонных плит, а именно китайского JGJ138-2016 [1], американского ANSI/ANSE 3-91 [2], европейского EN-1994-1-1 Eurocode 4 [3]. Проведено сравнение с российским стандартом СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» [4], а также проведен сравнительный анализ методик расчетов сталежелезобетонных плит в исследовательских работах зарубежных авторов, выявлены особенности и различия, которые могут быть полезны для проектировщиков и специалистов в области строительства. Представлены основные формулы и показаны на чертежах основные параметры для определения прочности и деформативности сталежелезобетонных плит, приведены коэффициенты из нормативных документов. В заключении сделаны выводы об основных отличиях зарубежных стандартов от российского в части включения в работу профилированного листа, расчета прогибов и прочности при изгибе.

Ключевые слова: сталежелезобетонная плита; профилированный настил; настил армирующий; расчет прочности; прогибы; СП 266.1325800.2016; американские нормы; европейские нормы; китайские нормы

Для цитирования: Анпилов С.М., Панфилов Д.А., Бычков А.С. Обзор отечественных и зарубежных нормативных документов, исследовательских работ и сравнение методик расчетов сталежелезобетонных плит // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 13-19. doi:10.51608/26867818_2025_2_13.

Review article

REVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN NORMATIVE DOCUMENTS, RESEARCH PAPERS AND COMPARISON OF STEEL REINFORCED CONCRETE SLAB CALCULATION METHODS

© The Author(s) 2025

ANPILOV Sergey Mikhailovich

doctor of technical sciences, professor of the Department
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk)



PANFILOV Denis Alexandrovich
doctor of technical sciences, professor
Samara State Technical University
(Russia, Samara)

BYCHKOV Alexander Sergeevich
student
Samara State Technical University
(Russia, Samara)

Abstract. Steel reinforced concrete profiled deck slabs are popular because they combine structural efficiency and speed of erection, offering an economical solution for a wide range of building types. In modern construction, steel reinforced concrete floor slabs are one of the most common structural elements. To ensure their reliability and efficiency, it is necessary to be guided by the relevant regulatory documents and calculation methods.

In this article, the review of foreign normative documents on design of steel reinforced concrete slabs is considered, namely Chinese JGJ138-2016, American ANSI/ANSE 3-91, European EN-1994-1-1 Eurocode 4. Comparison with the Russian standard SP 266.1325800.2016 "Steel reinforced concrete structures. Design Rules", as well as a comparative analysis of calculation methods of steel-reinforced concrete slabs in the research works of foreign authors, features and differences that can be useful for designers and construction specialists are identified. The basic formulas are presented and the main parameters for determining the strength and deformability of steel-reinforced concrete slabs are shown in drawings, coefficients and deflections from normative documents are given. Conclusions are drawn about the main differences between foreign standards and Russian standards on the inclusion of profiled sheet and on the calculation of bending strength and deflections.

Keywords: Steel reinforced concrete slab; profiled decking; reinforcing decking; strength calculation; deflections; SP 266.1325800.2016; American norms; European norms; Chinese norms

For citation: Anpilov S.M., Panfilov D.A., Bychkov A.S. Review of domestic and foreign normative documents, research papers and comparison of steel reinforced concrete slab calculation methods // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 13-19. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_13.

Сталежелезобетонные плиты являются важным элементом современного строительства, обладая рядом преимуществ, которые делают их актуальными и востребованными на рынке. Их использование позволяет значительно ускорить процесс возведения зданий, снизить затраты на строительство и обеспечить высокую надежность конструкций. Благодаря своей прочности, долговечности и отличным техническим характеристикам, сталежелезобетонные плиты широко применяются в различных типах строительных объектов — от жилых домов, до промышленных сооружений.

В будущем использование сталежелезобетонных плит будет продолжать набирать обороты благодаря своей эффективности и экономичности. С развитием технологий производства и новых методов расчетов можно ожидать улучшения качества плит, а также расширение спектра их применения в различных областях строительства. Этот вид плит перекрытий будет способствовать созданию более устойчивых и инновационных строительных решений, повышая уровень безопасности и эффективности строительных проектов.

Цель проводимых исследований: сопоставление методик расчетов, изложенных в отечественных и зарубежных нормативных документах, а также в работах зарубежных исследователей.

Одним из первых отечественных документов в области нормирования сталежелезобетонных кон-

струкций, стал совместный труд специалистов НИИЖБ и ЦНИИПромзданий, реализованный в 1987 году в виде «Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом» [5].

На следующем этапе развития отечественных норм в области проектирования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций, стоит отметить стандарт организации СТО 0047–2005 [6], разработанный в 2005 году специалистами лаборатории холодноформованных профилей и конструкций ЗАО "ЦНИИПСК им. Мельникова" и ЗАО "Хилти Дистрибьюшн Лтд".

На современном этапе формирования отечественной нормативной базы по расчету сталежелезобетонных изгибаемых конструкций можно считать актуальным в настоящее время СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования».

Среди зарубежных нормативных документов по проектированию сталежелезобетонных конструкций следует выделить следующие основные стандарты:

- Европейский стандарт EN-1994-1-1 Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures
- Американский стандарт ANSI/ASCE 3-91 American Society of Civil Engineers (ASCE). Standard for the Structural Design of Composite Slabs,
- Китайский стандарт JGJ138-2106 Code for design of composite structures

Несмотря на то, что все перечисленные выше стандарты строятся на одних и тех же принципах расчета, они имеют ряд существенных отличий в деталях, которые, в конечном счете, могут оказывать значительное влияние на безопасность и экономичность проектируемых конструкций.

Ниже рассмотрены основные положения по расчету прочности сталежелезобетонных конструкций в зарубежных изданиях и определить основные сходства и различия вышеперечисленных нормативных документов и выделить ряд наиболее существенных отличий отечественного стандарта от ведущих зарубежных аналогов.

Расчет несущей способности по JGJ138-2016.

Расчет несущей способности при изгибе в нормальном сечении, на основании действующих в сечении усилий (см. рис. 1), определяется следующими выражениями (1,2):

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (1)$$

$$f_c b x = A_s f_y + A_a f_a \quad (2)$$

где: M - расчетное значение изгибающего момента комбинированной плиты перекрытия в пределах расчетной ширины; f_a - расчетное значение прочности на растяжение профилированных стальных листов; f_c - расчетное значение прочности бетона на сжатие; f_y - расчетное значение прочности на растяжение стальной арматуры; b - расчетная ширина комбинированных плит перекрытия, которая в общем случае может составлять 1 м; x - высота сжатой зоны бетона; h_0 - рабочая высота сечения плиты, принимая расстоянием от точки растяжения стального листа и арматуры до края сжатия бетона; A_a - площадь поперечного сечения сжатого стального листа; A_s - площадь поперечного сечения стержневой сжатой арматуры

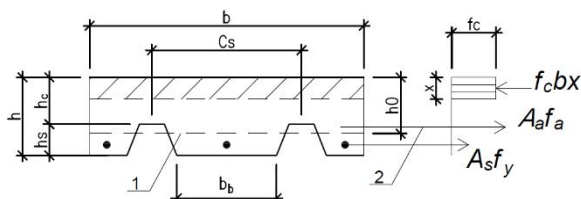


Рис. 1. Эскиз расчета на изгиб комбинированных плит перекрытия:

- 1 - ось центра тяжести сжимаемой стальной плиты;
- 2 - точка приложения силы к стальному материалу

Высота сжатой зоны бетона должна соответствовать следующим условиям:

$$x \leq h_c \quad (3)$$

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (4)$$

где: ξ_b - предельная относительная высота сжатой зоны сечения; h_c - толщина бетона над ребрами стальных листов, отформованных на сжатие.

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны сечения находят по формуле:

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_a}{E_a \varepsilon_{cu}}} \quad (5)$$

где: β_1 - графический коэффициент влияния напряжений в бетоне для зоны сжатия, в соответствии с положениями данной спецификации с п. 5.1.1 стандарта JGJ138-2016. При марке бетона по прочности $C_s \leq C50$ принимается равным 0,8; при марке бетона по прочности C80 равен 0,74, который определяется линейной интерполяцией; $\varepsilon_{cu} = 0.0033$ предельная деформация сжатия бетона в зоне сжатия; E_a - модуль упругости стальных профилей

- 1) Предел текучести стали

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{0.002}{\varepsilon_{cu}} + \frac{f_a}{E_a \varepsilon_{cu}}} \quad (6)$$

2) При конфигурации арматуры в зоне растяжения сечения относительные границы высоты зоны сжатия, вычисленные по уравнению (5), f_a - следует вычислять путем подстановки меньшего из расчетного значения; f_y - прочности арматуры и расчетного значения; f_a - прочности стальной плиты на сжатие соответственно. Расчетное значение f_y прочности стальной арматуры и расчетное значение f_a прочности стальной плиты на сжатие должны приниматься в качестве меньшего значения при расчете методом подстановки.

При отрицательном моменте можно не учитывать стальной настил. Комбинация секций перекрытия упрощается до эквивалентной Т-образной секции, ее положительная несущая способность должна быть в соответствии со следующей формулой (рис. 2).

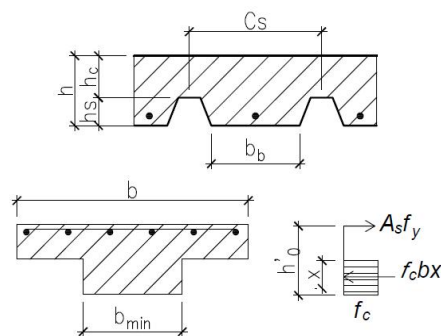


Рис. 2. Упрощенные Т-образные сечения

- а) Упрощенная схема сечения плит;
- б) Упрощенные сечения композитной плиты перекрытия



$$M \leq f_c b_{min} \left(h'_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (7)$$

$$f_c b x = A_s f_y \quad (8)$$

$$b_{min} = \frac{b}{c_s} b_b \quad (9)$$

где: M – расчетное значение отрицательного момента комбинированного перекрытия в пределах расчетной ширины; h'_0 – эффективная высота сечения в зоне отрицательного момента; b_{min} – ширина преобразованного полотна комбинированной плиты перекрытия в пределах расчетной ширины; b – расчетная ширина комбинированных плит перекрытия, которая в общем случае может составлять 1 м; c_s – расстояние между центральными ребрами стального листа, находящегося под нагрузкой; b_b – минимальная ширина одного волнового канала стальной плиты, отформованной методом сжатия

Расчет сталежелезобетонных плит с профилированным настилом по ANSI/ANSE 3-91. Расчетная прочность на изгиб (см. рис. 3) производится на один гофр C , рассчитываются следующим образом T_1 , T_2 и T_3 – предельные усилия в стали установленные для верхнего элемента, двух стенок и нижней части соответственно для одного элемента шириной C_s .

Для каждого гофра максимальный опорный изгибающий момент, составляет:

$$M_{ct} = (T_1 e_1 + T_2 e_2 + T_3 e_3) / 12 \quad (10)$$

$$e_3 = h - \frac{y_{cc}}{3} \quad (11)$$

$$e_2 = e_3 - \frac{d_d}{2} \quad (12)$$

$$e_1 = e_3 - d_d / 2 \quad (13)$$

$$T_1 = f_y (B_t t) \left[\frac{h - y_{cc} - d_d}{h - y_{cc}} \right] \quad (14)$$

$$T_2 = f_y (2D_w t) \left[\frac{(h - y_{cc} - d_d) 2}{(h - y_{cc})} \right] \quad (15)$$

$$T_3 = f_y (B_b t) \quad (16)$$

$$y_{cc} = d \left\{ \left[2\rho n + (\rho n)^2 \right]^{0.5} - \rho n \right\} \quad (17)$$

где: e_1 – расстояние от результирующей силы C до верха стального настила; e_2 – расстояние от результирующей силы C до середины высоты стального настила; e_3 – расстояние от результирующей силы C до нижней части стального настила; h – номинальная ширина перекрытия от края до края; y_{cc} – расстояние от нейтральной оси составного элемента сечения до верха плиты; d_d – общая глубина профиля стального настила; f_y – заданный или расчетный предел текучести или предел прочности стали; B_t – ширина верхнего фланца, измеренная на пересечении внутрен-

них касательных; t – толщина стального настила без учета покрытия; D_w – развернутая ширина полотна, измеренная до внутреннего касательной к фланцам, включая концевые дуги; B_b – ширина нижнего фланца, измеренная на пересечении внутренних касательных; C_s – расстояние между гофрами; d – эффективная глубина перекрытия, расстояние от крайнего волокна сжатия бетона до центроидальной оси полного поперечного сечения стального настила; ρ – отношение площади стального настила к площади бетона, A_s / bd ; b – единичная ширина плиты (12 дюймов); n – модульное соотношение E_s / E_c ; E_s – модуль упругости стального настила; E_c – модуль упругости бетона; $T_{1,2,3}$ – силы натяжения элементов настила.

Если $y_{cc} \geq h_c$, принимаем $y_{cc} = h_c$, где h_c – толщина бетона над верхней гофрой стального настила

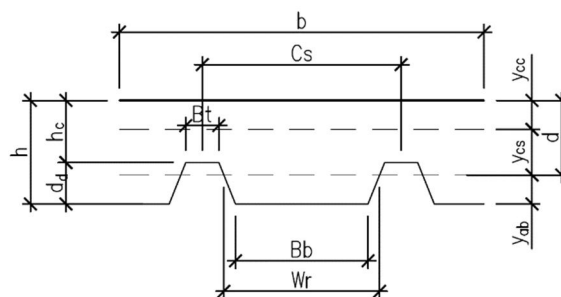


Рис. 3. Композитная плита

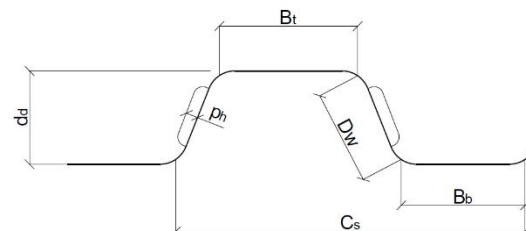


Рис. 4. Габариты профилированного настила

Расчет сталежелезобетонных плит с профилированным настилом по EN-1994-1-1 Eurocode 4 и Composite structures of steel and concrete. Ширина плиты, учитываемая в расчетах, b , обычно принимается равной одному метру, но для наглядности на рис. 5 показана только ширина одной волны. Общая толщина h_s , согласно Еврокоду 4, должна быть не менее 80 мм; а толщина бетона над "основной плоской поверхностью" верхней части ребер листа должна быть не менее 40 мм. Обычно эта толщина составляет 60 мм или более, чтобы обеспечить достаточную звукоизоляцию и огнестойкость, а также устойчивость к сосредоточенным нагрузкам.

За исключением случаев, когда листы необычно глубокие, нейтральная ось для изгиба лежит в бетоне, где имеется полное соединение на сдвиг; но в областях с частичным соединением на сдвиг

всегда нейтральная ось находится в части профлиста. В этом случае необходимо учитывать местное смятие сжатого листа. Для этого используется эффективная ширина плоских участков листа. Эта ширина допускается (в Еврокоде 4) в два раза превышать предельные значения, указанные для стальных профилированных листов класса 1 в балках, поскольку бетон препятствует прогибанию листов вверх, что сокращает изгиб.

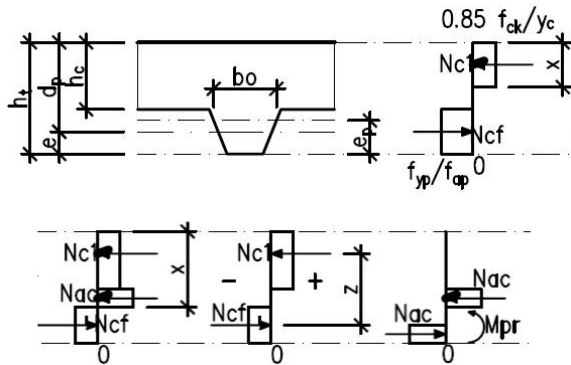


Рис. 5. Усилия в плите

Для напряженного листа шириной тиснения следует пренебречь при расчете эффективной площади, если только испытания не показали, что эффективна большая площадь.

По этим причинам эффективная площадь на метр ширины, A_p , и высота центра площади над дном листа, e , обычно основываются на испытаниях. Они обычно показывают, что e_p , высота пластической нейтральной оси полотна, отличается от e .

Случаи расчета по Еврокоду предлагается рассмотреть на примере работы Zhenyu Cheng Bao (Flexural behavior of corrugated steel-UHPC composite bridge decks) [7]

Сценарий 1 нейтральная ось в плите из УНРС.

На рис. 6 (а) показана диаграмма распределения напряжений и внутренних сил для случая 1. случай 1, усилия $N_{c,c}$, N_b и $N_{s,t}$ могут быть рассчитаны с использованием Уравнения (9)-(11).

$$N_{c,c} = A_{c,c} f_c = b x f_c \quad (18)$$

$$N_b = n A_b f_{b,y} = n \pi r^2 f_{b,y} \quad (19)$$

$$N_{s,t} = A_{s,t} f_{s,y} = \left[2 * \sqrt{b_2^2 + (h_2 - d_2)^2} + b_1 + b_3 + b_4 \right] \times d_2 f_{s,y} + h_3 d_1 f_{s,y} \quad (20)$$

где f_c - предел прочности СВП на сжатие; $f_{s,y}$ и $f_{b,y}$ - пределы текучести гофрированного стального настила и стального прутка, соответственно; $A_{c,c}$, A_b , $A_{s,t}$ и $A_{s,c}$ - площади зоны сжатия в УНРС, стального арматуры, зоны растяжения и зоны сжатия гофрированного стального листа соответственно; $N_{c,c}$,

N_b , $N_{s,t}$ и $N_{s,c}$ - усилия зона сжатия УНРС, стальной стержень, зона растяжения и зона сжатия зоны УНРС, зоны растяжения и зоны сжатия гофрированного стального настила, соответственно.

Осевые результирующие силы $N_{c,c}$, N_b , $N_{s,t}$ удовлетворяют условию равновесия условию уравнения (21), и тогда можно получить x .

$$N_{c,c} + N_b - N_{s,t} = 0 \quad (21)$$

Моменты $M_{c,c}$, M_b и $M_{s,t}$ определяются следующим образом.

$$M_{c,c} = y_{c,c} N_{c,c} = 0.5 N_{c,c} \quad (22)$$

$$M_b = y_b N_b = (x - d_c - r) N_b \quad (23)$$

$$M_{s,t} = y_{s,t} N_{s,t} = (h_1 - x - d_{s,t}) N_{s,t} \quad (24)$$

где $M_{c,c}$, M_b и $M_{s,t}$ и $M_{s,c}$ - изгибающие моменты для зоны сжатия УНРС, стального бруса, зоны растяжения и зоны сжатия зоны сжатия УНРС, стального бруса, зоны растяжения и зоны сжатия гофрированного стального настила, соответственно; и $d_{s,t}$ - расстояние от вершины до центральной оси гофрированного стального настила.

Несущая способность V_u поперечного сечения определяется:

$$M_u = 2(M_{c,c} + M_b + M_{t,s}) \quad (25)$$

$$V_u = \frac{2M_u}{L_s} \quad (26)$$

Сценарий 2 нейтральная ось в гофрированном стальном настиле. На рис. 6(b) показана диаграмма распределения напряжений и внутренних сил для сценария 2. Сценарий 2 Осевые силы $N_{c,c}$, N_b , $N_{s,t}$ могут быть рассчитаны с помощью уравнений (27)-(30).

$$N_{c,c} = A_{c,c} f_c = \left(b_1 + 2b_2 - \frac{x - h_1}{h_2 - d_2} b_2 \right) (x - h_1) f_c + b h_1 f_c \quad (27)$$

$$N_b = n A_b f_{b,y} = n \pi r^2 f_{b,y} \quad (28)$$

$$N_{c,s} = A_{c,s} f_t = \left[2 \frac{x - h_1}{h_2 - d_2} \sqrt{b_2^2 + (h_2 - d_2)^2} + b_3 + b_4 \right] d_2 f_t \quad (29)$$

$$N_{s,t} = A_{s,t} f_{s,y} = \left[2 \frac{h - x - d_2}{h_2 - d_2} \sqrt{b_2^2 + (h_2 - d_2)^2} + b_1 \right] \times d_2 f_{s,y} + h_3 d_1 f_{s,y} \quad (30)$$

Уравнение равновесия записывается в виде:

$$N_{c,c} + N_b + N_{c,s} - N_{s,t} = 0 \quad (31)$$

Моменты $M_{c,c}$, M_b и $M_{s,t}$ и $M_{s,c}$ определяются:

$$M_{c,c} = y_{c,c} N_{c,c} = d_{c,c} N_{c,c} \quad (32)$$

$$M_b = y_b N_b = (x - d_c - r) N_b \quad (33)$$

$$M_{s,t} = y_{s,t} N_{s,t} = (x - h_1 - d_{s,c}) N_{s,t} \quad (34)$$

$$I / 240 \quad (35)$$



где $d_{s,t}$ и $d_{s,c}$ – расстояния от вершины до центральной оси зоны растяжения и сжатия гофрированного стального настила, соответственно.

Несущая способность V_u поперечного сечения определяется:

$$M_u = 2(M_{c,c} + M_b + M_{t,s} + M_{s,t}) \quad (36)$$

$$V_u = \frac{2M_u}{L_s} \quad (37)$$

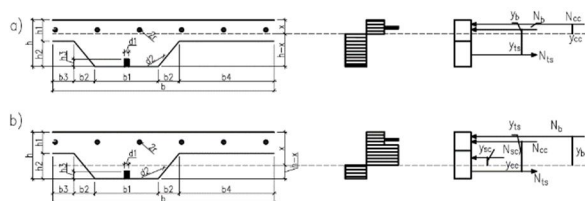


Рис. 6. Распределение напряжений и внутренних сил
а) Сценарий 1; б) Сценарий 2

Далее остановимся на характеристиках профлиста в нормативных документах и выделим разницу в прогибах.

При выборе материалов в сравнении есть незначительные различия в основном заключаются в выборе стали.

В СП 266.1325800.2016 толщина стали для профилей от 0,7 до 1,5 мм, предел текучести стали от 230 до 350 Н/мм² при относительном удлинении от 16% до 22%.

По EN-1994-1-1 подобного ограничения для композитных плит не существует. Однако в Европе расчетное напряжение текучести профнастила обычно составляет 280-420 Н/мм² (ниже, чем для арматуры), ее собственная прочность при изгибе делает сталежелезобетонные плиты менее чувствительными к преждевременному раздроблению бетона.

Обращая внимание на опыт отечественного производства, в ТУ - 1120-003-316631300162970-2019 (БИЗОН) [8-10] значение предела текучести указано не менее 350 Н/мм², что, в целом, соответствует верхнему пределу вышеперечисленных стандартов.

По EN-1994-1-1 приводится рекомендуемая толщина цинкового покрытия. Толщина цинкового покрытия общей массой 275 г/м² (с обеих сторон) является достаточным для листов, расположенных внутри зданий и эксплуатируемых в неагрессивной среде, но технические условия на покрытие могут изменяться в зависимости от условий эксплуатации. Если вернуться к ТУ - 1120-003-316631300162970-2019 (БИЗОН) значение, приведенное выше, используется как минимальное возможное к применению.

По ANSI/ASCE 3-91 разделяют максимальный прогиб для каждого типа композитной плиты. Максимально допустимые прогибы при эксплуатационных нагрузках должны быть учтены как кратковре-

менной, так и продолжительной нагрузкой. Максимально допустимые значения прогибов указаны в таблице 1; дополнительный прогиб – умножением мгновенного прогиба, вызванного длительной нагрузкой, на коэффициент:

$$\lambda = [(2 - 1.2(A'_s) / (A'_s))] \geq 0.6 \quad (38)$$

Таблица 1. Максимально допустимые прогибы при эксплуатационных нагрузках

Тип композитной плиты	Тип прогиба	Прогиб ограничение
Плоские крыши, не являющиеся несущими или не прикрепленные к несущим элементам могут быть повреждены при больших прогибах	Непосредственный прогиб под действием нагрузки W_{rf}	$l / 180$
Полы, не поддерживающие и не прикрепленные к несущим элементам, которые могут быть повреждены в результате больших прогибов	мгновенный прогиб под действием нагрузки W_t	$l / 360$
Плиты крыши или пола, поддерживающие или прикрепленные к несущим элементам, которые могут быть повреждены в результате больших прогибов	Та часть общего прогиба, которая возникает после крепления неструктурных элементов, сумма длительного прогиба, вызванного немедленным прогибом под действием любой дополнительной нагрузки	$l / 480$
Перекрытие крыши или пола к не несущие элементы, которые не могут быть повреждены при больших прогибах	Та часть общего прогиба, которая возникает после крепления неструктурных элементов, сумма длительного прогиба, вызванного немедленным прогибом под действием любой дополнительной нагрузки	$l / 240$

По EN-1994-1-1 прогиб под статической нагрузкой под действием веса мокрого бетона в пределах пролета стального настила, не должен превышать меньшего $l / 180$.

На основе проведенных исследований можно сделать выводы:

– китайский стандарт JGJ138-2016 в большинстве расчетов схож с СП 266.1325800.2016, но в то же время есть небольшие изменения при расчете граничной высоты сжатой зоны и упрощенного расчета, когда нейтральная ось находится в ребре настила,



где они полностью не учитывают профилированный лист.

– в американском ANSI/ANSE 3-91 есть отличия от СП 266.1325800.2016, так в нем указываются подробные величины максимально допустимых прогибов для нескольких случаев применения плит, а также расчетные методы имеющие расхождения с отечественным стандартом и требующие детального разбора для понимания их сути.

– Методы расчета прочности железобетонных элементов на изгиб и продольные силы в Еврокоде и отечественных рекомендациях основаны на общих принципах, с небольшими различиями в части принятых расчетных коэффициентов.

– Расчет прочности на поперечные силы и крутящие моменты существенно отличается: в российских нормах используются наклонные и пространственные сечения, в Еврокоде – стержневые модели.

Библиографический список

1. JGJ138-2016, Code for design of composite structures, China Construction Industry Press, Beijing. (2016)
2. American Society of Civil Engineers (ASCE) Standard for the Structural Design of Composite Slabs, ANSI/ASCE 3-91, New York, 1992
3. EN 1994-1-1, European Committee for Standardization. Eurocode 4 Design of composite steel and concrete

structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium; 2004

4. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

5. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом [Текст]. – М.: Стройиздат, 1987.

6. СТО 0047-2005 Стандарт организации. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. / ЦНИИПСК им. Мельникова (63 стр.).

7. Zhenyu Cheng, Qinghua Zhang, Yi Bao Flexural behavior of corrugated steel-UHPC composite bridge decks, Engineering Structures, Volume 246, 2021, 113066

8. ТУ - 1120-003-316631300162970-2019 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для сталежелезобетонных конструкций (Настилы армирующие - НА "БИЗОН") 20 августа 2019 года/

9. Применение нормативно-технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений с использованием ЛСТК и настила армирующего "БИЗОН" / С. М. Анпилов, В. А. Ерышев, Г. В. Мурашкин, А. Н. Сорочайкин. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебной строительно-технической экспертизы", 2021. – 82 с. – DOI 10.51608/1206572708. – EDN YOVHXL.

10. Анпилов, С. Пути прогресса и развития в науке / С. Анпилов. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебной строительно-технической экспертизы", 2021. – 186 с. – ISBN 978-5-6044616-2-4. – DOI 10.51608/9785604461624. – EDN YTOIRW.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 19.05.2025; одобрена после рецензирования 23.06.2025; принята к публикации 23.06.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 19.05.2025; approved after reviewing 23.06.2025; accepted for publication 23.06.2025.



Научная статья
УДК 691.327.333
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_2_20

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА

© Авторы, 2025
SPIN: 1884-3081

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

МЕДВЕДЕВ Евгений Романович
магистрант
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет «Сибстрин»
(Россия, Новосибирск, e-mail: e.medvedev@sibstrin.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются свойства неавтоклавного пенобетона с использованием кислой и кальциевой золы-уноса г. Новосибирска. В соответствии с ГОСТ 25818-2017 исследуемые золы-уноса допускается применять в изделиях из ячеистых бетонов. Введение кальцийсодержащих силикатных добавок, диопсида и волластонита, позволяет регулировать плотность и прочность получаемого материала. Выявлены зависимости между количеством введенной добавки естественной крупности, плотностью и прочностью пенобетона при использовании протеиновых пенообразователей (Foam Cem, Эталон, Rospena).

Ключевые слова: неавтоклавный пенобетон; зола-унос; минеральные добавки; волластонит; диопсид; белковый пенообразователь; строительные материалы

Для цитирования: Бартеньева Е.А., Медведев Е.Р. Влияние минеральных добавок на плотность и прочность неавтоклавного пенобетона // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 20-25. doi:10.51608/26867818_2025_2_20.

Original article

THE EFFECT OF MINERAL ADDITIVES ON THE DENSITY AND STRENGTH OF NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE

© The Author(s) 2025

BARTENJEVA Ekaterina Anatol'evna
Candidate of Technical Sciences, associate professor
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: e.bartenyeva@sibstrin.ru)

MEDVEDEV Evgenii Romanovich
master's student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: e.medvedev@sibstrin.ru)

Abstract. The article discusses the properties of non-autoclaved foam concrete using acid and calcium fly ash in Novosibirsk. In accordance with GOST 25818-2017, the studied fly ash can be used in products made of cellular concrete. The introduction of calcium-containing silicate additives, diopside and wollastonite, allows you to adjust the density and strength of the resulting material. The dependences between the amount of the introduced additive of natural size and the density and strength of foam concrete when using protein foaming agents (FoamCem, Etalon, Rospena) were revealed.

Keywords: non-autoclaved foam concrete; fly ash; mineral additives; wollastonite; diopside; protein foaming agent; building materials



For citation: Bartenjeva E.A., Medvedev E.R. The effect of mineral additives on the density and strength of non-autoclaved foam concrete // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 20-25. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_20.

Введение. Для строительной отрасли особую актуальность в современных условиях приобретает неавтоклавный пенобетон, характеризующийся низкой энергоемкостью технологии и низкой теплопроводностью, что приводит к снижению затрат на отопление зданий и сооружений.

Благоприятно повлиять на экологическую обстановку может и вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых отходов, что также является актуальной задачей, так как ежегодно в России таких отходов складывается более 20 млн тонн. Применение зол-уноса в производстве пенобетона способствует снижению его плотности и улучшению теплофизических показателей, способствует формированию равномерной мелкопористой структуры. В стране к 2035 году доля утилизации золошлаков (ЗШО) должна вырасти с 12% до 50% от объема образования. Особое значение такая стратегия имеет для регионов Сибири, где сосредоточены 45% российских угольных ТЭС. В округе находится тысячи гектаров земли, выведенной из оборота, в Новосибирске — это крупные участки в черте города (рис. 1). По данным СГК, на Новосибирских ТЭЦ-2, 3, 4, 5 и Барабинской ТЭЦ в 2023 году образовано порядка 643 тыс. тонн ЗШО, из которых утилизировано только 225 тыс. тонн (35%).



Рис. 1. Золоотвалы ТЭЦ г. Новосибирска¹

¹ Использованы фотографии из свободных источников Интернета: 73060f35b4da454b669dae39f9c33de0.jpg (1024×681), <https://basanova.ru/risunki/tets-5-karta>.

Переработка отходов экономически выгодна, поскольку позволяет снизить затраты на сырье, использование отходов снижает нагрузку на окружающую среду и уменьшает накапливаемый объем отходов производства [1-5].

Соответственно, утилизация золошлаковых отходов для получения неавтоклавного пенобетона, снижение его плотности и теплопроводности при сохранении прочности является актуальной задачей.

Для повышения устойчивости ячеистой структуры пенобетонов были успешно применены кальцийсодержащие силикатные минеральные добавки [6]. Применялись волластонит и диопсид, имеющие средство химического состава к минералам цемента и продуктам их гидратации [7-8]. Было выявлено, что указанные добавки естественной крупности позволяют влиять на воздухововлечение в двухстадийной технологии пенобетона, а также положительно сказываются на структурообразовании цементного камня. Таким образом, все это приводит к изменениям плотности и прочности материала.

Материалы и методы исследования. Для приготовления пенобетона в работе применялись следующие компоненты: портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н с химическим составом, мас. %: CaO – 63,0; SiO₂ – 19,3; Al₂O₃ – 4,6; SO₃ – 4,0; Fe₂O₃ – 3,9; MgO – 1,9; K₂O – 0,5; Na₂O₃ – 0,4; TiO₂ – 0,3; P₂O₅ – 0,1; MnO – 0,1; ППП – 2,3; истинная плотность – 3160 кг/м³, насыпная – 1056 кг/м³.

Для исследования были выбраны волластонит (месторождение Синюхинское) химический состав, мас. %: SiO₂ – 46,1; CaO – 45,1; Fe₂O₃ – 4,4; Al₂O₃ – 2,9; MgO – 0,9, истинная плотность составляет 2455 кг/м³. Размеры основной массы частиц находится в пределах 80-250 мкм, удельная поверхность – 90 м²/кг.

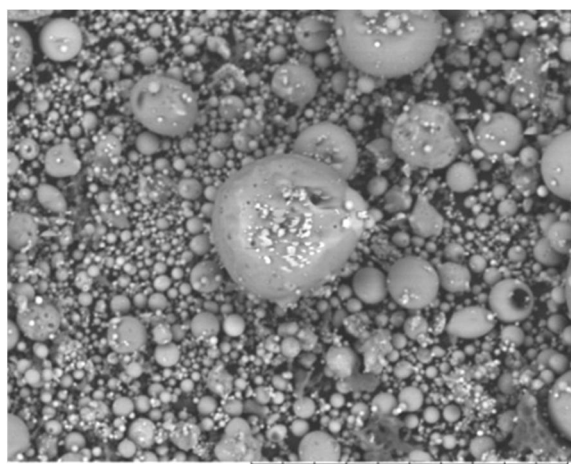
Диопсид (месторождение Слюдянское) со следующим химическим составом, мас. %: SiO₂ – 51,3; CaO – 25,0; MgO – 20,0; Al₂O₃ – 1,9; Fe₂O₃ – 0,8; K₂O – 0,2. Удельная поверхность добавки – 120 м²/кг, истинная плотность – 2778 кг/м³. Размеры частиц диопсида находятся в пределах 50-150 мкм.

В работе применялся белковый пенообразователь Foamcem (Laston Italiana S.p.A) и отечественные Эталон (ООО «Аист») и Роспена (Rospena).

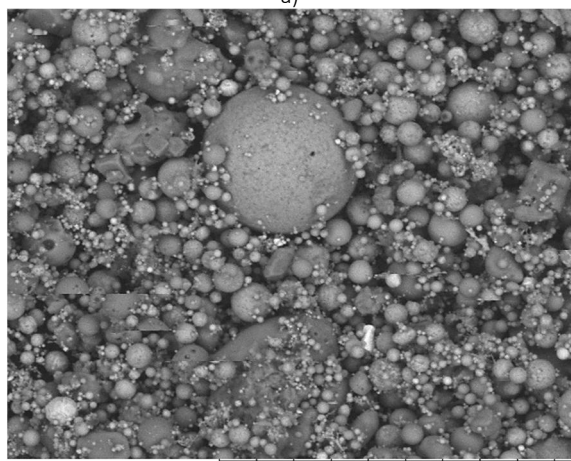
В качестве кремнеземистого компонента использована кислая зола-уноса от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна (г. Новосибирск). Истинная плотность золы 2600 кг/м³, удельная поверх-



ность – 260 м²/кг. Химический состав, мас. %: SiO₂ – 60,8; Al₂O₃ – 19,5; Fe₂O₃ – 5,2; CaO – 5,1; MgO – 2,1; K₂O – 2,0; Na₂O – 0,9; SO₃ – 0,5; BaO – 0,2. Частицы золы представлены сферическими частицами. Основная масса исследуемой золы представляет собой с размерами до 130 мкм (рис. 2 а), остаток на сите 008 составляет (по массе) 4,5 %. В соответствии с ГОСТ 25818-2017 такую золу можно использовать для производства ячеистых бетонов.



а)



б)

Рис. 2. Зола г. Новосибирска: а – кислая, б – основная

Для получения пенобетона также применяли основную золу-уноса от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна (г. Новосибирск). Химический состав, мас. %: SiO₂ – 49,47; Al₂O₃ – 7,36; Fe₂O₃ – 7,51; CaO – 27,53; MgO – 4,52; Na₂O – 0,23; K₂O – 0,28; SO₃ – 1,24; TiO₂ – 0,44; BaO – 0,38. Данная зола относится к среднекальцевой с содержанием CaO 20-30% [9]. Истинная плотность золы равна 2489 кг/м³, удельная поверхность – 240 м²/кг. Основная масса частиц материала находится в пределах 153-660 мкм (рис. 2 б), но в материале также встречаются частицы разме-

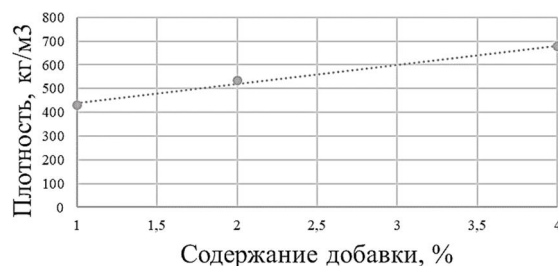
рами более 1 мм. Остаток на сите 008 составляет (по массе) 14,2 %. В соответствии с ГОСТ 25818-2017 такую золу можно использовать для производства ячеистых бетонов.

Пенобетонная смесь готовилась по двухстадийной технологии на оборудовании турбулентного типа. Введение минеральных добавок осуществлялось в сухую смесь. Были получены образцы пенобетона с использованием основной золы-уноса на основе пенообразователей Эталон (рис. 3, 4) и Роспена (рис. 5, 6), при использовании кислой золы-уноса пенобетон готовился на основе пенообразователя Foam Сем (рис. 7, 8).

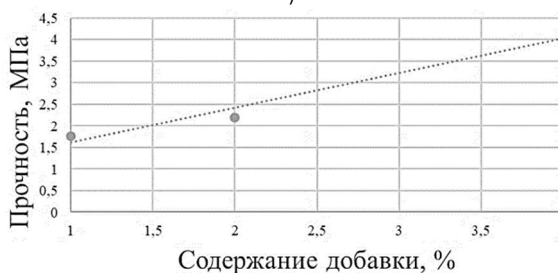
С помощью диаграммы рассеяния проводилась оценка свойств модифицированного пенобетона. Такой способ используется для визуализации зависимости между двумя переменными. Она отображает пары значений двух переменных в виде точек на двумерной плоскости. Для установления силы связи определяют коэффициент корреляции [10].

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Результаты и обсуждение. По результатам эксперимента были построены диаграммы рассеяния, представленные на рисунках 3-8, и проведена статистическая обработка. Был рассчитан коэффициент корреляции, числовое значение, которого количественно измеряет силу и направление линейной взаимосвязи между двумя переменными. Чем ближе коэффициент корреляции к единице, тем модель более точно объясняет изменчивость зависимой переменной.



а)

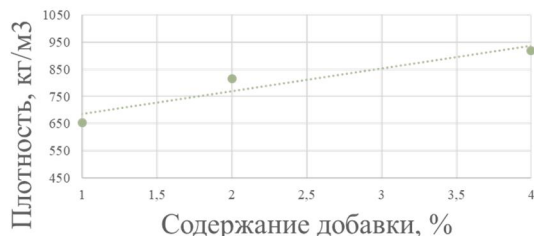


б)

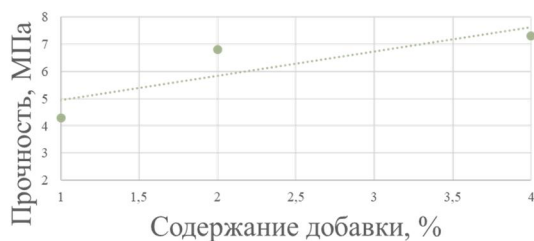
Рис. 3. Влияние волластонита на свойства пенобетона Эталон: а) плотность, б) прочность при сжатии



Для значений количества волластонита и плотности пенобетона Эталон коэффициент корреляции равен 0,994, коэффициент детерминации $r^2 = 0,989$, для прочности $r = 0,987$, $r^2 = 0,974$. Коэффициент детерминации, близкий к 1 ($r^2 \approx 1$), подтверждает, что практически вся изменчивость прочности и плотности объясняется изменением содержания диопсида и волластонита.



а)



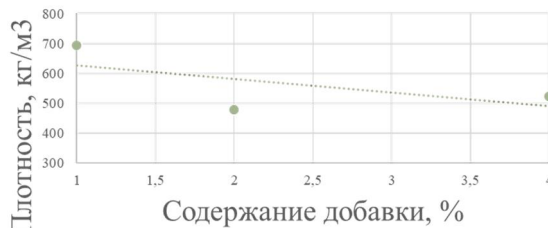
б)

Рис. 4. Влияние диопсида на свойства пенобетона Эталон: а) плотность, б) прочность при сжатии

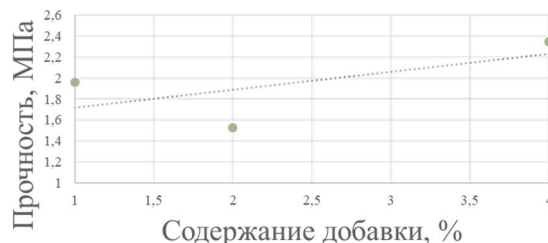
Для количества диопсида и плотности пенобетона коэффициент корреляции составляет 0,950, $r^2 = 0,903$, а для прочности $r = 0,848$, $r^2 = 0,720$. Таким образом, увеличение количества диопсида и волластонита способствует значительному повышению плотности и прочности пенобетона на основе пенообразователя Эталон. Для полученных диаграмм рассеяния (рис. 3, 4) значения идеально выстраиваются в линию с положительной зависимостью.

Для количества волластонита и плотности пенобетона Роспена определены $r = -0,611$, $r^2 = 0,373$, для прочности $r = 0,633$, $r^2 = 0,400$.

Коэффициент корреляции для количества диопсида и плотности пенобетона Роспена равен 0,993, $r^2 = 0,987$, для прочности $r = 0,992$, $r^2 = 0,984$. По диаграмме рассеяния можно отметить, что при введении волластонита получают отрицательная и положительная корреляции. Плотность уменьшается, а прочность увеличивается. При введении диопсида коэффициенты корреляции близки к 1, как и коэффициенты детерминации. Плотность и прочность пенобетона Роспена увеличиваются пропорционально увеличению процентного содержания добавки диопсида.

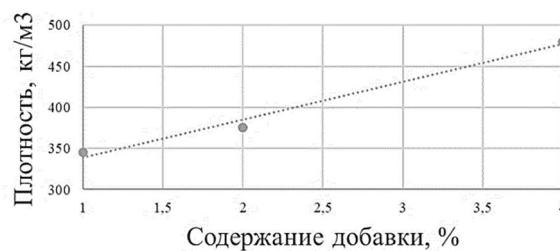


а)

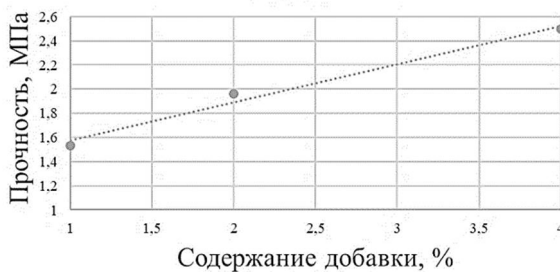


б)

Рис. 5. Влияние волластонита на свойства пенобетона Роспена: а) плотность, б) прочность при сжатии



а)

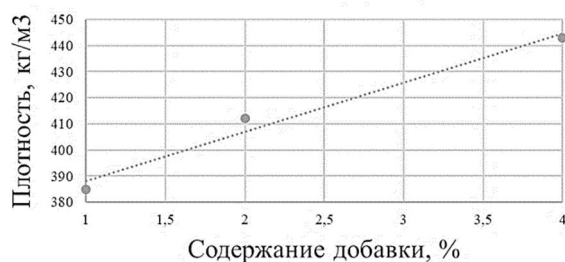


б)

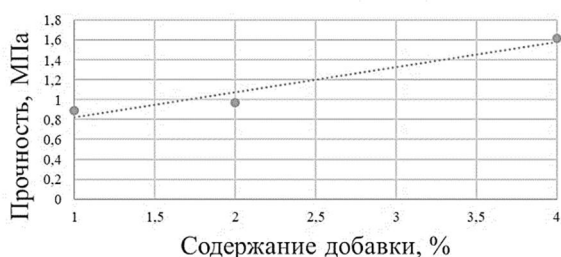
Рис. 6. Влияние диопсида на свойства пенобетона Роспена: а) плотность, б) прочность при сжатии

Коэффициент корреляции и детерминации для плотности пенобетона Foam Cem и концентрации волластонита равны $r = 0,988$; $r^2 = 0,977$, для прочности значения коэффициентов составляют $r = 0,732$; $r^2 = 0,536$.

Введение диопсида незначительно меняет значения плотности и прочности готового материала. Для плотности коэффициент корреляции $r = 0,958$; $r^2 = 0,919$, для прочности $r = -0,622$; $r^2 = 0,388$, отрицательная зависимость определена для прочности, что может быть связано с нарушением пористой структуры при увеличении количества добавки.

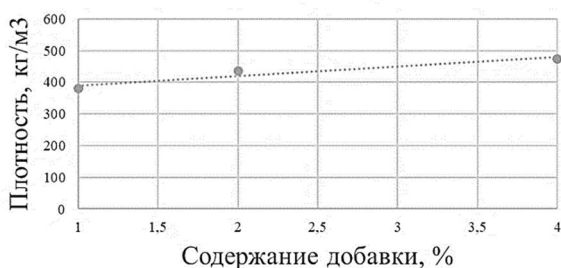


а)

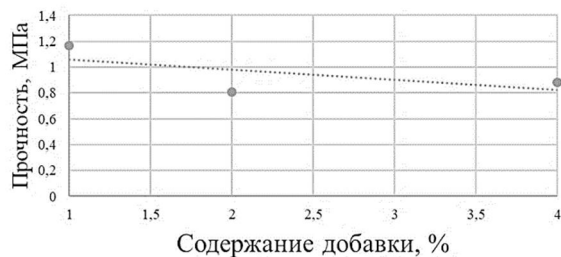


б)

Рис. 7. Влияние волластонита на свойства пенобетона FoamСem: а) плотность, б) прочность при сжатии



а)



б)

Рис. 8. Влияние диоксида на свойства пенобетона FoamСem: а) плотность, б) прочность при сжатии

Таким образом, на основе зол-уноса г. Новосибирска можно получить неавтоклавный пенобетон более низкой плотности при введении добавок до 2,5 %. При использовании минеральных силикатных кальцийсодержащих добавок можно регулировать плотность и прочность неавтоклавного пенобетона.

Диаграммы рассеяния позволяют оценить силу взаимосвязи между концентрацией добавок и рассматриваемыми свойствами, наибольшие значения зависимостей ($r=0,611-0,994$) установлены для плотности пенобетона на разных пенообразовате-

лях. Значения рассчитанных коэффициентов указывают на то, что добавки значительно объясняют вариативность свойств пенобетона. Линейная зависимость в большей степени проявляется при изменении количества минеральных добавок для пенобетона Эталон.

Заключение. 1. На основе зол-уноса г. Новосибирска можно получить неавтоклавный пенобетон более низкой плотности при введении добавок до 2,5 %.

2. При использовании основной золы-уноса и пенообразователя Эталон прочность и плотность образцов пенобетона повышаются с увеличением количества добавки диоксида и волластонита. Наиболее сильно проявляется линейная зависимость.

3. Для пенообразователя Rospena и основной золы-уноса введение волластонита позволяет снизить плотность пенобетона и повысить прочность.

4. При использовании кислой золы-уноса и пенообразователя «Foam Сем» имеется положительная зависимость между плотностью пенобетона и количеством добавок диоксида и волластонита.

Библиографический список

1. Рожин, В. Н. Пенобетон на цементных композициях из природного сырья / В. Н. Рожин, А. Е. Местников. – М.: ООО "Русайнс", 2024. – 134 с.
2. Явинский, А. В. Применение ускорителей твердения в смешанном вяжущем / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Качество. Технологии. Инновации : Материалы VI международной научно-практической конференции, Новосибирск, 15–17 февраля 2023 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2023. – С. 120-124.
3. Золошлаковые и известь содержащие отходы Иркутской области - эффективные материалы для получения силикатных изделий автоклавно-го твердения / С. В. Макаренко, К. Ю. Вабищевич, О. В. Хохряков [и др.] // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 3. – С. 264-271.
4. Золошлаковые отходы как источник вторичного сырья / А. А. Черенцова, А. М. Дербенцева, Л. П. Майорова, Т. И. Матвеевко // Экология и промышленность России. – 2013. – № 4. – С. 28-33.
5. Дергунов, С. А. Золошлаковые отходы. Проблемы и перспективы применения / С. А. Дергунов, О. В. Серикова, С. В. Сериков // Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 декабря 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 22-24.
6. Бартьенева, Е. А. Цементно-золистый теплоизоляционный пенобетон с дисперсными добавками волластонита и диоксида: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бартьенева Екатерина Анатольевна. – Улан-Удэ, 2021. – 23 с.
7. Ильина, Л. В. Влияние комплексных дисперсных минеральных добавок на прочность цементного камня / Л. В. Ильина, Г. И. Бердов, Н. О. Гичко // Известия высших



учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 1(697). – С. 38-44.

8. Бердов, Г. И. Повышение прочности портландцементного камня при введении минеральных добавок / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина // Сухие строительные смеси. – 2017. – № 6. – С. 40-42.

9. Савинкина, М. А. Зола Канско-Ачинских бурых углей / М. А. Савинкина, А. Т. Логвиненко. – Новосибирск: Наука, 1979. – 168 с.

10. Смирнова, О. Е. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества / О. Е. Смирнова, О. Н. Соловьева, Е. А. Бартеньева ; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин). – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2021. – 152 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Научная статья
УДК 691.5
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_2_26

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ СВВ-500 НА СТРУКТУРУ ДРЕВЕСНО-ГИПСОВОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

- © Авторы, 2025
SPIN: 2667-2458 **ГОРОХОВ Тимофей Иванович**
аспирант
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: gorohowt@yandex.ru)
- SPIN: 8826-1560 **ЕРОФЕЕВ Александр Владимирович**
кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: AV.Erofeev@yandex.ru)
- SPIN: 8674-6046 **МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович**
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук,
директор Института архитектуры, строительства и транспорта
РААСН; Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)
- SPIN: 7134-9888 **ЕЗЕРСКИЙ Валерий Александрович**
доктор технических наук, профессор
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: wiz75micz@rambler.ru)
- КОВАЛЕВ Никита Святославович**
магистрант
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: kov.nik.01@mail.ru)

Аннотация. Древесно-гипсовый композитный материал оптимального состава на основе гипсового вяжущего и древесных опилок имеет низкие значения прочностных характеристик, что обуславливает необходимость их повышения. Одним из распространенных способов повышения прочностных показателей является использование модифицирующих добавок, повышающих прочностные характеристики материала за счет изменения его структуры. Экспериментально изучено изменение структуры древесно-гипсового композитного материала при введении в него добавки СВВ-500. Также описаны процессы, приводящие к таким изменениям.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее; древесина; композитный материал; повышение прочности; порометрия; структурообразование; строительные материалы

Для цитирования: Влияние добавки СВВ-500 на структуру древесно-гипсового композитного материала / Т.И. Горохов, А.В. Ерофеев, П.В. Монастырев, В.А. Езерский, Н.С. Ковалев // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 26-30. doi:10.51608/26867818_2025_2_26.



Original article

THE INFLUENCE OF THE ADDITIVE SVV-500 ON THE STRUCTURE OF WOOD-GYPSUM COMPOSITE MATERIAL

© The Author(s) 2025

GOROKHOV Timofey Ivanovich

PhD Candidate
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

YEROFEYEV Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

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

YEZERSKY Valery Aleksandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

KOVALEV Nikita Svyatoslavovich

Master's student
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

Abstract. The wood-gypsum composite material of optimal composition based on gypsum binder and sawdust has low values of strength characteristics, which necessitates their increase. One of the most common ways to increase strength indicators is the use of modifying additives that increase the strength characteristics of the material by changing its structure. A change in the structure of a wood-gypsum composite material was experimentally studied when the SVV-500 additive was introduced into it. The processes leading to such changes are also described.

Keywords: Gypsum binder; wood; composite material; strength enhancement; porometry; structure formation; building materials

For citation: The influence of the additive SVV-500 on the structure of wood-gypsum composite material / T.I. Gorokhov, A.V. Yerofeyev, P.V. Monastyrev, V.A. Yezersky, N.S. Kovalev // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 26-30. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_26.

Введение. Современное строительство предъявляет всё более жёсткие требования к материалам, используемым в зданиях и сооружениях. Эти требования касаются не только прочности и долговечности, но и таких характеристик, как лёгкость, экологическая безопасность, энергоэффективность и устойчивость к внешним воздействиям. В связи с этим всё большую популярность приобретают композитные материалы, обладающие уникальными свойствами, недостижимыми для традиционных строительных материалов.

Композитные материалы представляют собой сочетание двух или более компонентов с различными физико-механическими характеристиками, что

позволяет получить материал с новыми, улучшенными свойствами [1]. Одним из таких материалов является древесно-гипсовый композитный материал, в состав которого входит гипс и древесные опилки [2-6].

Однако, даже композитные материалы нуждаются в усовершенствовании своих свойств. Так, сравнительно низкие прочностные показатели древесно-гипсового композитного материала могут существенно снизить область его использования. Для повышения прочностных показателей используются различные модифицирующие добавки, в том числе и СВВ-500, которая имеет в своем составе аэраторы, регуляторы структуры и стабилизаторы.



Методология. Экспериментально было установлено, что оптимальным процентом добавки СВВ-500 для изготовления древесно-гипсового композитного материала с повышенными прочностными характеристиками является 2 %. В данном случае показатель прочности на растяжение при изгибе увеличивается почти в 2,5 раза (с 0,55 МПа до 1,38 МПа), а значение прочности сжатия увеличивается более чем в 1,5 раза (с 1,46 МПа до 2,53 МПа). Рост прочностных характеристик связан с изменением структуры материала, которую можно оценить прямым физическим методом: ртутная порометрия. Таким образом, методом ртутной порометрии изучалась структура древесно-гипсового композитного материала с добавлением пластификатора СВВ-500 в количестве 2 % от массы вяжущего в сравнении со структурой материала без добавки.

Результаты. График интегральной и дифференциальной зависимости объема пор от их размеров для древесно-гипсового композитного материала представлены на рисунке 1, а и б, соответственно.

Анализ полученных в ходе проведения эксперимента результатов показал, что максимальный диаметр пор образца составляет 1077,8 мкм; минимальный диаметр пор – 0,00710 мкм; средний диаметр пор – $8,045 \cdot 10^{-1}$ мкм. Модальный диаметр, характеризующий диаметр большинства пор, составил 4,89 мкм, а медианный, соответствующий диаметру, при котором масса всех частиц делится на две равные части (масса частиц, диаметр которых меньше медианного диаметра, равна 50 % массы всех частиц образца), – 14,58 мкм. Таким образом, общая пористость древесно-гипсового композитного материала составила 38,62 %, при этом межчастичная пористость

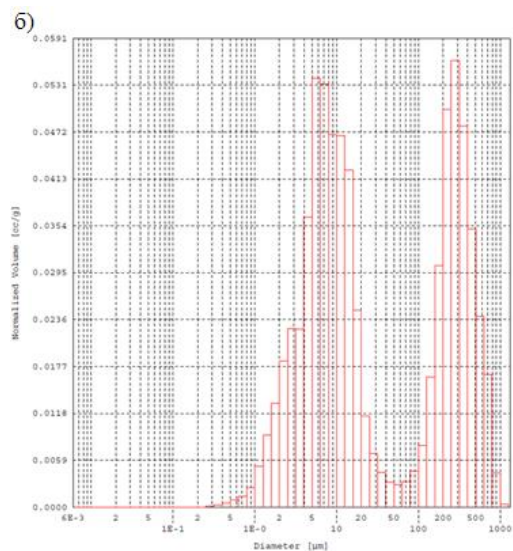
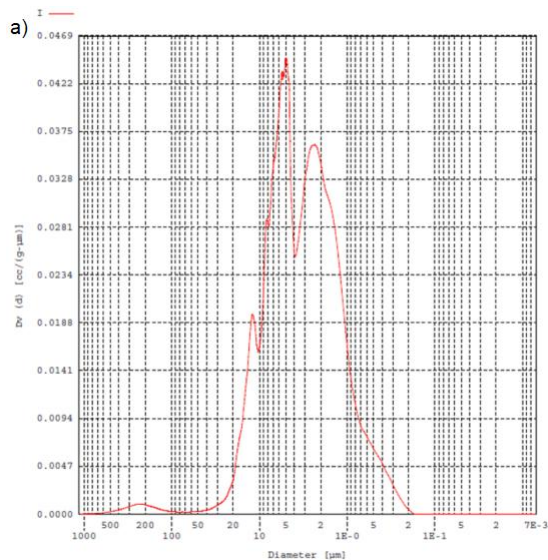


Рис. 1. Графики интегральной (а) и дифференциальной (б) зависимости объема пор от их размеров для древесно-гипсового композита с добавлением пластификатора СВВ-500

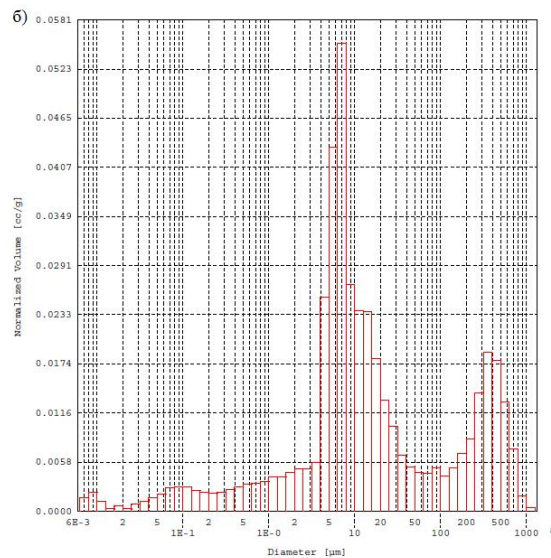
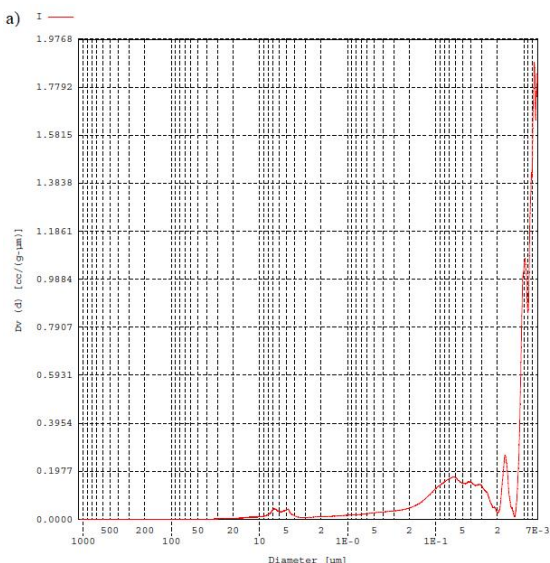


Рис. 2. Графики интегральной (а) и дифференциальной (б) зависимости объема пор от их размеров для древесно-гипсового композита с добавлением пластификатора СВВ-500



составила 33,22 %, а внутривлажная – 5,39 %. Удельная площадь поверхности составила 0,3612 м²/г.

График интегральной и дифференциальной зависимости объема пор от их размеров для древесно-гипсового композитного материала с добавлением пластификатора СВВ-500 представлены на рисунке 2, а и б, соответственно.

Анализ полученных в ходе проведения эксперимента результатов показал, что максимальный диаметр пор образца составляет 1069,00 мкм; минимальный диаметр пор – 0,0071 мкм; средний диаметр пор – $7,819 \cdot 10^{-1}$ мкм. Модальный диаметр составил 3,56 мкм, а медианный – 11,23 мкм. Таким образом, общая пористость древесно-гипсового композитного материала с добавлением пластификатора СВВ-500 составила 48,39 %, при этом межчастичная пористость составила 40,13 %, а внутривлажная – 8,26 %. Удельная площадь поверхности составила 0,4237 м²/г.

Обсуждение. Сравнительный анализ данных для образцов древесно-гипсового композитного материала с добавлением модификатора СВВ-500 и без него показал, что добавление пластификатора СВВ-500 приводит к изменению структуры материала, а именно наблюдается формирование более плотной структуры. В количественных показателях это выражается в снижении среднего диаметра пор почти на 3 %, а модального почти на 27 %. При этом увеличивается общая пористость материала с 38,62 до 48,32 %. Кроме того, увеличение удельной площади поверхности почти на 17 % показывает, что количество пор увеличилось, а их размер уменьшился.

Улучшение структурных свойств гипсового вяжущего на начальных этапах добавления СВВ-500 выполняется за счет механизмов улучшения адгезии частиц гипса и снижения водопотребности гипсового раствора.

Выводы. СВВ-500 способствует образованию более прочных межчастичных связей, что приводит к формированию более плотной и однородной структуры материала, что в свою очередь уменьшает количество микротрещин и пор, повышая общую прочность на сжатие и изгиб. При этом добавка СВВ-500 снижает водопотребность гипсового раствора, что способствует уменьшению пористости готового изделия и образованию более плотной структуры, что положительно сказывается на механических характеристиках. Меньшая пористость означает меньшее количество пустот в структуре материала, что напрямую влияет на его прочность.

Однако, стоит заметить, что при дальнейшем увеличении добавки СВВ-500 начинает происходить постепенное снижение прочностных показателей, при этом при увеличении содержания добавки до 4

% прочность образцов на сжатие ниже аналогичной прочности образцов без добавки.

Процесс снижения прочности образцов с применением добавки СВВ-500 связан с сильным пластифицирующим эффектом – увеличение процентного содержания добавки требует снижения количества воды, которое в данном исследовании оставалось неизменным. Изменения водно-гипсового соотношения приводит к образованию избытка влаги при кристаллизации гипсового вяжущего, в следствии чего происходит увеличение пористости материала, снижающее прочностные характеристики.

На начальном этапе образование избытка влаги положительно сказывается на механических характеристиках композита. Это обуславливается возможностью древесных опилок впитывать в себя влагу и постепенно отдавать ее на этапе твердения, что, как известно, благоприятно сказывается на механических характеристиках материалов на основе гипсового вяжущего. Избыток влаги, оставшейся после полного насыщения древесных опилок водой, дает отрицательный эффект. Так, при концентрациях добавки СВВ-500 более 3 % изменяется процесс гидратации гипса, что приводит к образованию нестабильных фаз и структур. Это изменение приводит к ухудшению кристаллической структуры гипсового вяжущего и образованию микротрещин и дефектов. Такое неправильное протекание гидратационных процессов вызывает образование слабых зон и трещин в материале.

Полученные результаты подтверждают сделанные предположения о процессах структурообразования древесно-гипсового композитного материала при добавлении пластификатора СВВ-500.

Библиографический список

1. Композиционные материалы в строительстве [Электронный ресурс]: [учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство] / [В.Г. Соловьев и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, МГСУ, кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов. — Электрон. дан. и прогр. (3,8 Мб). — М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2020. — Загл. с титул. экрана.
2. Пат. 2788603 Российская Федерация, МПК C04B 28/14. Древесно-гипсовый композит [Текст] / Ерофеев А.В., Горохов Т.И., Ковалев Н.С., Горохов С.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ТГТУ – № 2022108904; заявл. 04.04.2022; опубл. 23.01.2023. – 1 с.: ил.
3. Горохов, Т. И. Подбор оптимального состава композита методом математического планирования эксперимента с прочностных позиций [Текст] / Т. И. Горохов, К. В. Филимошкина, А. В. Ерофеев // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции, Тамбов, 20–21 апреля 2022 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 100-103.
4. Горохов, Т.И. Математическое планирование эксперимента при подборе оптимального состава компо-



зитного материала на основе гипсового вяжущего, наполненного древесными опилками [Текст] / Т.И. Горохов, А.В. Ерофеев, Б.А. Бондарев, А.О. Корнеева // Научный журнал строительства и архитектуры. – № 3 (67), 2022, с. 53-60.

5. Разработка древесно-гипсового композитного материала для внутренней отделки помещений [Текст] / Т. И. Горохов, А. В. Ерофеев, Е. И. Пахомов [и др.] // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – № 10(1070). – С. 48-51.

6. Исследование эксплуатационных свойств древесно-гипсового композита оптимального состава [Текст] /

Н. С. Ковалев, Т. И. Горохов, А. В. Ерофеев, С. И. Горохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 6(275). – С. 67-72.

7. ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2019–05–01. – М. : Изд-во стандартов, 2018. – 15 с. – ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ".

8. Техническое описание оборудования Испытательный пресс ИП-500 АВТО (ЗИПО). – [Электронный ресурс] / Технические характеристики оборудования Испытательный пресс ИП-500.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Научная статья
УДК 625 7/8
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_2_31

ВЛИЯНИЕ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ДЕФОРМАТИВНУЮ СПОСОБНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

- © Авторы, 2025 **ЗАРАПИНА Любовь Сергеевна**
аспирант
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: gsiad@mail.tambov.ru)
- SPIN: 1771-7181 **АНДРИАНОВ Константин Анатольевич**
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги»
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: konst-68@yandex.ru)
- SPIN: 4118-5150 **ЗУБКОВ Анатолий Федорович**
доктор технических наук, профессор
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: afzubkov2013@yandex.ru)
- SPIN: 8674-6046 **МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович**
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук,
директор Института архитектуры, строительства и транспорта
РААСН; Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

Аннотация. Регенерация асфальтогранулята, получаемого при холодном фрезеровании старых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, позволяет уменьшить потребность в материальных ресурсах при ремонте, реконструкции и строительстве в дорожной отрасли. Разделение по фракциям асфальтогранулята расширяет область его применения. При холодном фрезеровании покрытия получают гранулы, поверхность которых покрыта битумной пленкой. Со временем битумная пленка на поверхности гранул становится хрупкой и для дальнейшего применения полученного материала необходимо восстановить свойства вяжущего. Наибольшее применение при регенерации асфальтогранулята получила битумная эмульсия. Введение битумной эмульсии в состав асфальтогранулята позволяет восстановить свойства вяжущего в смеси, что влияет не только на прочностные характеристики асфальтогранулобетонной смеси, но и на деформативную способность смеси при действии нагрузки в процессе уплотнения.

Ключевые слова: асфальтогранулобетонная смесь; битумная эмульсия; деформация и жесткость слоя; дорожное покрытие; дорожное строительство; строительные материалы

Для цитирования: Влияние битумной эмульсии на деформативную способность асфальтобетонной смеси при регенерации асфальтогранулята / Л.С. Зарапина, К.А. Андриянов, А.Ф. Зубков, П.В. Монастырев // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 31-38. doi:10.51608/26867818_2025_2_31.



Original article

THE EFFECT OF BITUMEN EMULSION ON THE DEFORMABILITY OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE DURING ASPHALT GRANULATE REGENERATION

© The Author(s) 2025

ZARAPINA Lyubov Sergeevna

PhD Candidate
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ANDRIANOV Konstantin Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Urban Construction and Roads»
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ZUBKOV Anatoly Fedorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

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

Abstract. The regeneration of asphalt granulate obtained by cold milling of old asphalt-concrete road surfaces reduces the need for material resources during repair, reconstruction, and construction in the road industry. Separation by fractions of asphalt granulate expands the scope of its application. During cold milling of the coating, granules are obtained, the surface of which is covered with a bitumen film. Over time, the bitumen film on the surface of the granules becomes brittle, and for further use of the resulting material, it is necessary to restore the properties of the binder. Bitumen emulsion has received the greatest use in the regeneration of asphalt granulate. The introduction of bitumen emulsion into the asphalt granulate makes it possible to restore the properties of the binder in the mixture. This affects not only the strength characteristics of the asphalt-granulated concrete mixture but also the deformability of the mixture under load during the compaction process.

Keywords: asphalt-granulocrete mixture; bitumen emulsion; deformation and stiffness of the layer; roadway paving; road construction; building materials

For citation: The effect of bitumen emulsion on the deformability of asphalt concrete mixture during asphalt granulate regeneration / L.S. Zarapina, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov, P.V. Monastyrev // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 31-38. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_31.

Введение. При холодном фрезеровании дорожных покрытий нежесткого типа автомобильных дорог при проведении капитального ремонта и реконструкции получают материал в виде гранул, поверхность которых покрыта битумной пленкой. Такой материал получил название асфальтогранулята. Со временем битумная пленка на поверхности асфальтогранулята с учетом химических процессов становится хрупкой за счет потери вязкостных свойств.

Для восстановления сил сцепления между частицами асфальтогранулята в процессе регенерации применяют вяжущие материалы, позволяющие восстановить прочностные характеристики асфальтогранулята для повторного применения [1-3]. В каче-

стве вяжущих материалов используют битум, битумные эмульсии, известь, цемент и комбинированные добавки в виде сочетания разных компонентов из вяжущих материалов [4-5].

В зависимости от применяемых вяжущих материалов, смеси имеют не только разные физико-механические характеристики, но и скорость структурообразования, что позволяет их применять при устройстве слоев на всех категориях автомобильных дорог.

При ремонте и реконструкции дорог I-III технических категорий такие смеси применяют для устройства оснований и нижних слоев покрытия, а на дорогах IV категории допускается их применение



для устройства верхних слоев покрытия с последующей поверхностной обработкой.

Принятыми рекомендациями для устройства дорожных одежд дорог I-II категорий необходимо применять щебеночные смеси, а для дорог III-IV категорий допускается применение песчаных асфальтогранулобетонных смесей. Разделение асфальтогранулята по фракциям для приготовления смесей не только способствует образованию разных структур при устройстве дорожных одежд, но и влияет на содержание вяжущего в смеси [6-7].

Широкое применение при регенерации асфальтогранулята получили битумные эмульсии, применение которых характеризуется меньшими затратами для обеспечения требуемых характеристик дорожных одежд.

Под действием нагрузки в процессе уплотнения с учетом размера фракций асфальтогранулята и параметров слоя происходит изменение физико-механических характеристик материала за счет остаточных деформаций уплотняемого слоя [8-9].

Методика проведения исследования. С целью уточнения влияния нагрузки на деформативную способность слоя смеси с учетом размера фракций асфальтогранулята, толщины слоя при укладке и содержании битумной эмульсии проведены исследования, в результате которых установлены зависимости остаточной деформации слоя от перечисленных факторов.

Определение деформаций слоя смеси выполнялось при действии циклической нагрузки по заданной величине напряжения под круглым штампом. Плотность слоя материала при действии уплотняющей нагрузки зависит от остаточной деформации слоя. Для установления разных факторов (толщины слоя, процентного содержания эмульсии и нагрузки) на величину деформации материал укладывали слоями толщиной 0,05, 0,1 и 0,15 м при разном процентном содержании эмульсии и действующей нагрузке. Измерение деформаций слоя выполнялось с помощью специальной установки индикатором часового типа с точностью 0,01 мм. Укладка слоя материала осуществлялась заданной толщиной. После укладки и предварительного уплотнения слоя материала на поверхность образца устанавливался штамп. Верхнюю плиту пресса устанавливали выше уровня поверхности штампа на 1,5-2,0 мм. Для измерения деформации индикатор, прикрепленный к стойке, размещался таким образом, чтобы подвижная часть его ножки касалась верхней плиты пресса. После этого нагружался образец материала через штамп. По заданной величине напряжения с помощью индикатора часового типа определялись перемещения штампа. После замера под нагрузкой пол-

ной деформации штампа снималась нагрузка и производился замер упругой деформации. Затем цикл нагрузки слоя с замером деформаций повторялся.

Исследовательская часть. Эффективность воздействия уплотняющей нагрузки на слой материала характеризуется величиной необратимой деформации, которая зависит от напряжений в зоне контакта органа машины с поверхностью слоя, конструктивных параметров слоя и свойств уплотняемого материала.

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты измерения деформаций при разном содержании битумной эмульсии в смеси, размера фракций асфальтогранулята и толщины слоя при действии нагрузки на уплотняемый слой смеси.

Таблица 1 - Результаты испытания асфальтогранулобетонной смесей:

- фракция размером 5/20 мм при содержании битумной эмульсии 2%

Напряжение, МПа	Толщина слоя 0,05м			Толщина слоя 0,1м			Толщина слоя 0,15м		
	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$
1,0	9,09	2,15	6,94	20,2	2,37	17,83	30,22	3,81	26,41
2,0	4,57	1,0	3,57	10,09	2,11	7,98	8,13	1,13	7,0
3,0	3,04	1,0	2,04	2,6	1,41	1,19	3,13	1,06	2,07
4,0	2,13	0,51	1,62	2,02	0,97	1,05	0,71	0,57	0,14

- фракция размером 10/20 мм при содержании битумной эмульсии 4%

Напряжение, МПа	Толщина слоя 0,05м			Толщина слоя 0,1м			Толщина слоя 0,15м		
	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$
1,0	6,07	2,17	3,9	7,57	2,04	5,53	9,93	2,12	7,81
2,0	6,21	3,17	3,04	6,59	2,28	4,31	9,43	1,06	8,37
3,0	5,02	3,15	1,87	6,54	2,33	4,21	6,39	2,04	4,35
4,0	2,18	2,04	0,14	4,25	2,10	2,15	2,61	0,2	2,41

- фракция размером 20/40 мм при содержании битумной эмульсии 6%

Напряжение, МПа	Толщина слоя 0,05м			Толщина слоя 0,1м			Толщина слоя 0,15м		
	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$	$\lambda_{полн}$	$\lambda_{упр}$	$\lambda_{ост}$
1,0	4,71	0,31	4,4	8,64	2,46	6,18	9,75	0,7	9,05
2,0	3,84	0,39	3,45	7,11	1,87	5,24	6,22	0,77	5,45
3,0	4,19	1,09	3,1	6,07	0,9	5,17	5,96	0,92	5,04
4,0	4,04	2,09	1,95	5,23	2,54	2,69	5,11	2,03	3,08

На рис. 1 представлено влияние размера фракций асфальтогранулята на величину деформации слоя при содержании битумной эмульсии в смеси 4% и толщине слоя 0,1 м.

Из представленных на рис. 1 данных видно, что размер фракции смеси влияет на остаточную деформацию слоя при общей зависимости ее влияния от напряжения.

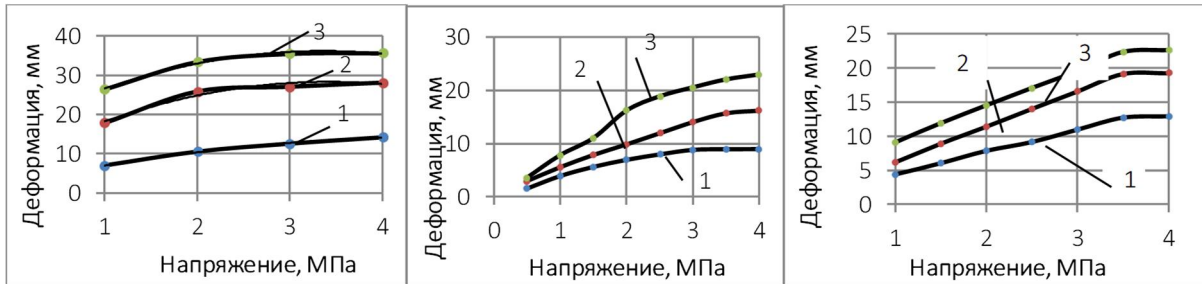


Рис. 1. Влияние размера фракции асфальтогранулята в смеси на деформацию слоя:
а - фракция размером 5-20 мм; б - 10-20 мм; в - 20-40 мм; 1 - толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м

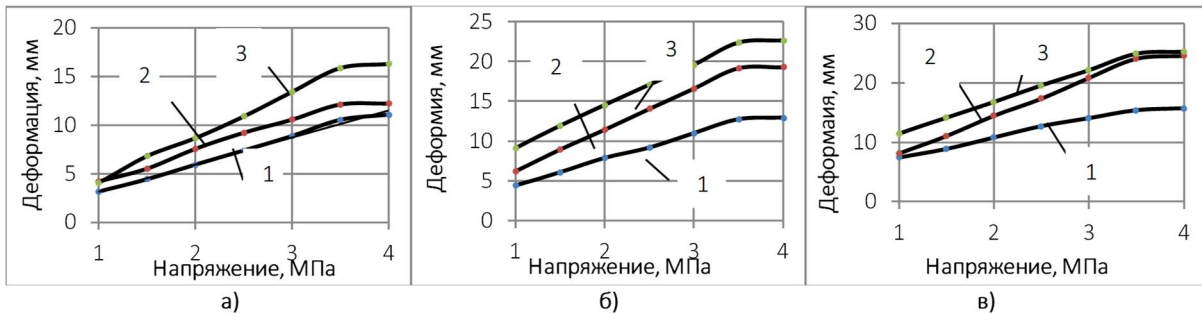


Рис. 2. Зависимость деформации от напряжения для фракции размером 20-40 мм при разной толщине слоя и содержании эмульсии: а - содержание эмульсии 2%; б - 4%; в - 6%; 1 - толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м; 3 - 0,15 м

Влияние толщины слоя и содержания битумной эмульсии в смеси на деформацию слоя под действием нагрузки при постоянном размере фракций асфальтогранулята представлено на рис. 2.

Из представленных данных на рис. 1 и 2 видно, что размер фракции, содержание эмульсии в

смеси и толщина слоя влияют на величину остаточной деформации слоя под действием уплотняющей нагрузки при устройстве слоев дорожных одежд автомобильных дорог. На основании этого можно сделать вывод, что для эффективного применения асфальтогранулобетонных смесей, полученных при ре-

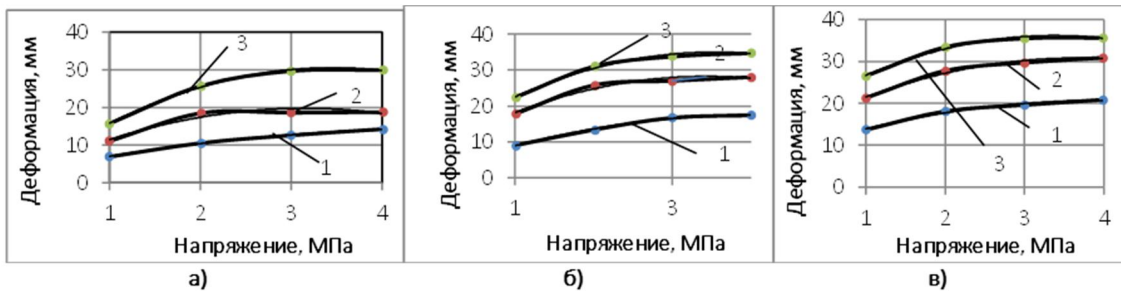


Рис. 3. Зависимость деформации от напряжения для фракции размером 5-20 мм при разной толщине слоя и содержании эмульсии в смеси:
а - содержание эмульсии 2%; б - 4%; в - 6%; 1 - толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м; 3 - 0,15 м

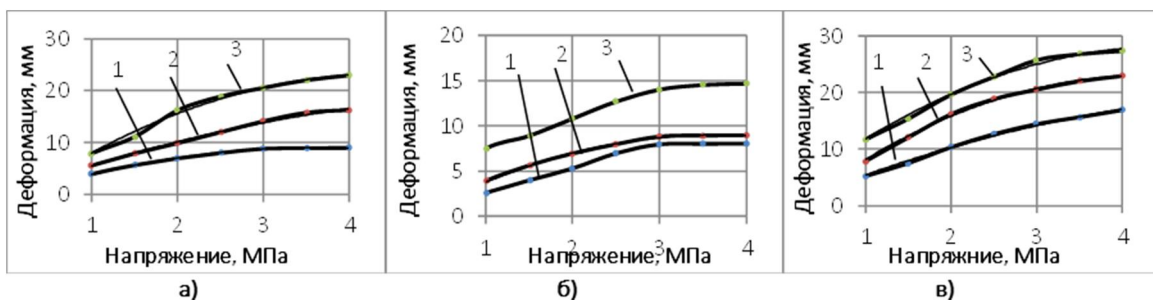


Рис. 4. Зависимость деформации от напряжения при разной толщине слоя и содержании эмульсии фракции размером 10-20 мм: а - содержание эмульсии 2%; б - 4%; в - 6%; 1 - толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м; 3 - 0,15 м

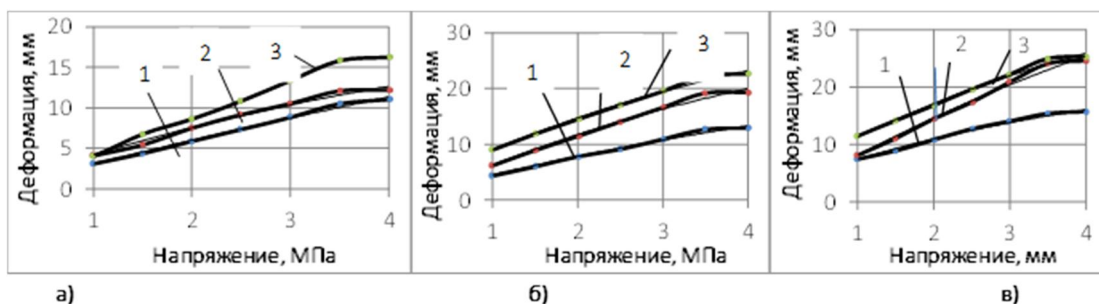


Рис. 5. Зависимость деформации от напряжения при разной толщине слоя и содержании эмульсии для фракции размером 20-40 мм: а – содержание эмульсии 2%; б – 4%; в – 6%; 1 – толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м; 3 – 0,15 м

генерации асфальтогранулята, необходимо установить влияние содержания эмульсии, размера фракции в смеси и толщины слоя на технологию уплотнения дорожных одежд автомобильных дорог.

На основании данных, представленных в табл. 1, установлены зависимости деформации слоя асфальтогранулобетонной смеси от напряжения при разном процентном содержании эмульсии с учетом толщины слоя (рис. 3-5).

Численное значение остаточной деформации слоя смеси от напряжения при разных значениях толщины слоя и процентного содержания эмульсии в смеси определяются уравнениями, представленными в табл. 2.

В табл. 2: σ -напряжение, МПа. Коэффициент корреляции уравнений находится в пределах 0,98-0,99.

Анализ зависимостей, представленных в табл. 2 показал, что развитие остаточной деформации

в слое асфальтогранулята, независимо от толщины и содержания эмульсии в смеси подчиняется общим закономерностям. На основании этого можно установить общие закономерности развития деформации слоя от содержания эмульсии в смеси и толщины слоя при укладке.

Для установления закономерностей представим данные на рис. 3-5 в относительных значениях, принимая деформацию слоя для каждой фракции при напряжении 1,0 МПа за единицу и обозначим принятую величину через коэффициент K_0 , характеризующим влияние напряжения на остаточную деформацию уплотняемого слоя.

В качестве примера на рис. 6 представлены зависимости коэффициента K_0 от напряжения для фракции размером 5-20 мм при разном содержании битумной эмульсии в смеси с учетом толщины слоя.

Таблица 2 - Зависимости деформации слоя от напряжения

Фракция, мм	Толщина слоя, м	Содержание эмульсии в смеси, %		
		2%	4%	6%
5-20	0,05	$\lambda = -0,49\sigma^2 + 4,82\sigma + 2,66$	$\lambda = -0,93\sigma^2 + 7,54\sigma + 2,28$	$\lambda = -0,78\sigma^2 + 6,16\sigma + 8,53$
	0,10	$\lambda = -1,81\sigma^2 + 11,34\sigma + 1,93$	$\lambda = -1,73\sigma^2 + 11,85\sigma + 8,1$	$\lambda = -1,31\sigma^2 + 9,59\sigma + 13,21$
	0,15	$\lambda = -2,45\sigma^2 + 16,92\sigma + 1,3$	$\lambda = -1,94\sigma^2 + 13,75\sigma + 10,7$	$\lambda = -1,65\sigma^2 + 11,36\sigma + 17$
10-20	0,05	$\lambda = -0,48\sigma^2 + 4,23\sigma - 0,92$	$\lambda = -0,75\sigma^2 + 5,46\sigma - 0,93$	$\lambda = -0,49\sigma^2 + 6,35\sigma - 0,43$
	0,10	$\lambda = -0,75\sigma^2 + 5,46\sigma - 0,93$	$\lambda = -0,47\sigma^2 + 6,02\sigma - 0,07$	$\lambda = -1,37\sigma^2 + 11,73\sigma - 2,2$
	0,15	$\lambda = -0,89\sigma^2 + 7,13\sigma + 0,45$	$\lambda = -1,29\sigma^2 + 11,48\sigma - 2,22$	$\lambda = -1,28\sigma^2 + 11,69\sigma + 1,4$
20-40	0,05	$\lambda = -0,07\sigma^2 + 3,12\sigma + 0,09$	$\lambda = -0,18\sigma^2 + 3,81\sigma + 0,93$	$\lambda = -0,32\sigma^2 + 4,45\sigma + 3,37$
	0,10	$\lambda = -0,25\sigma^2 + 4,08\sigma + 0,45$	$\lambda = -0,45\sigma^2 + 6,8\sigma - 0,05$	$\lambda = -0,38\sigma^2 + 7,63\sigma + 0,9$
	0,15	$\lambda = -0,26\sigma^2 + 5,47\sigma - 0,95$	$\lambda = -0,49\sigma^2 + 7,16\sigma + 2,37$	$\lambda = -0,47\sigma^2 + 7,17\sigma + 4,65$

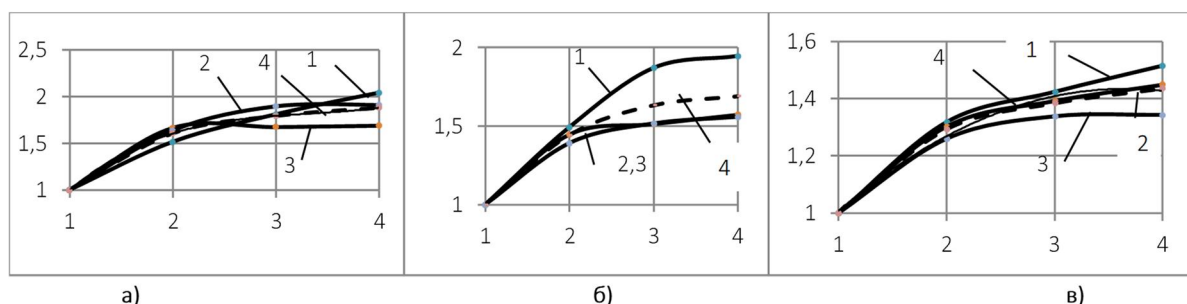


Рис. 6. Зависимость коэффициента K_0 от напряжения с учетом толщины слоя и содержания эмульсии для фракции размером 5-20 мм: а – содержание эмульсии 2%; б – 4%; в – 6%; 1 – толщина слоя 0,05 м; 2-0,1 м; 3 – 0,15 м; 4-общая



Аналогичные зависимости установлены для фракций 10-20 мм и 20-40 мм. В табл. 3 представлены зависимости для определения коэффициентов K_{σ} для каждого слоя с учетом фракции смеси и содержания эмульсии.

- фракция размером 5-20 мм:
 $K_{\sigma 06} = -0,095\sigma^2 + 0,69\sigma + 0,41$, (1)
- фракция размером 10-20 мм:
 $K_{\sigma 06} = -0,16\sigma^2 + 1,39\sigma - 0,26$, (2)
- фракция размером 20-40 мм:

Таблица 3 - Зависимости коэффициентов K_{σ} для слоя смеси от напряжения

Фракция, мм	Толщина слоя, м	Содержание эмульсии в смеси, %		
		2%	4%	6%
5-20		Зависимость $K_{\sigma} = f(\sigma)$		
	0,05	$-0,071\sigma^2 + 0,69\sigma + 0,38$	$-0,1\sigma^2 + 0,84\sigma + 0,25$	$-0,06\sigma^2 + 0,45\sigma + 0,62$
	0,10	$-0,16\sigma^2 + 1,02\sigma + 0,17$	$-0,09\sigma^2 + 0,61\sigma + 0,48$	$-0,06\sigma^2 + 0,45\sigma + 0,61$
10-20	0,15	$-0,15\sigma^2 + 1,08\sigma + 0,09$	$-0,1\sigma^2 + 0,66\sigma + 0,45$	$-0,06\sigma^2 + 0,43\sigma + 0,64$
	0,05	$-0,27\sigma^2 + 2,1\sigma - 0,91$	$-0,18\sigma^2 + 1,34\sigma - 0,16$	$-0,13\sigma^2 + 1,42\sigma - 0,33$
	0,10	$-0,18\sigma^2 + 1,34\sigma - 0,16$	$-0,15\sigma^2 + 1,37\sigma - 0,23$	$-0,19\sigma^2 + 1,61\sigma - 0,41$
20-40	0,15	$-0,09\sigma^2 + 0,81\sigma + 0,23$	$-0,19\sigma^2 + 1,62\sigma - 0,47$	$-0,13\sigma^2 + 1,12\sigma - 0,06$
	0,05	$-0,04\sigma^2 + 1,09\sigma - 0,1$	$-0,07\sigma^2 + 1,03\sigma + 0,01$	$-0,06\sigma^2 + 0,7\sigma + 0,33$
	0,10	$-0,07\sigma^2 + 1,07\sigma - 0,05$	$-0,1\sigma^2 + 1,25\sigma - 0,19$	$-0,07\sigma^2 + 1,07\sigma - 0,05$
	0,15	$-0,09\sigma^2 + 1,5\sigma - 0,42$	$-0,05\sigma^2 + 0,67\sigma + 0,35$	$-0,05\sigma^2 + 0,67\sigma + 0,35$

Таблица 4 - Влияние напряжения на общий коэффициент K_{σ} для фракции с учетом содержания битумной эмульсии в смеси

Фракция	2%	4%	6%
	Зависимость $K_{\sigma} = f(\sigma)$		
5-20 мм	$-0,13\sigma^2 + 0,93\sigma + 0,21$	$-0,1\sigma^2 + 0,71\sigma + 0,39$	$-0,06\sigma^2 + 0,44\sigma + 0,63$
10-20 мм	$-0,18\sigma^2 + 1,42\sigma - 0,29$	$-0,16\sigma^2 + 1,37\sigma - 0,23$	$-0,15\sigma^2 + 1,38\sigma - 0,25$
20-40 мм	$-0,08\sigma^2 + 1,27\sigma - 0,23$	$-0,08\sigma^2 + 1,04\sigma + 0,007$	$-0,06\sigma^2 + 0,81\sigma + 0,21$

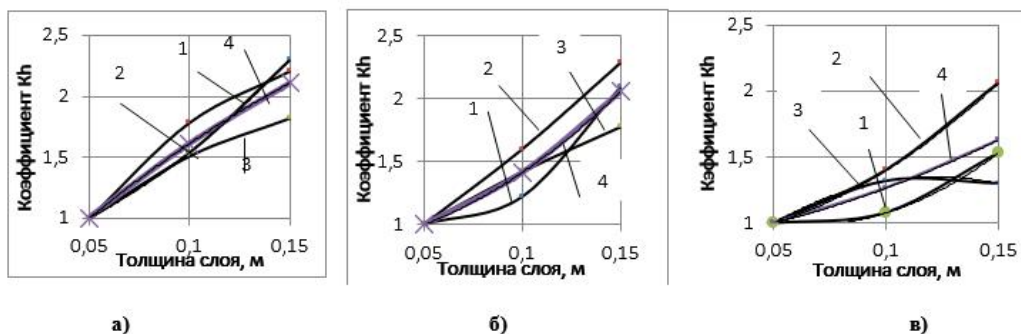


Рис. 7. Зависимость коэффициента K_h от толщины слоя с учетом размера фракции смеси:
а - фракция 5-20 мм; б - 10-20 мм; в - 20-40 мм; 1 - при 2%; 2 - 4%; 3 - 6%; 4 - общая

Полученные результаты влияния напряжения на остаточную суммарную деформацию слоя позволяет сделать вывод, что имеется общая зависимость деформации слоя для каждой фракции от напряжения с учетом содержания битумной эмульсии в смеси независимо от толщины слоя.

В табл. 4 представлены зависимости для расчета коэффициента K_{σ} при разном содержании в смеси битумной эмульсии.

Из представленных зависимостей видно, что для каждой фракции имеется общая закономерность влияния напряжения на деформацию слоя независимо от содержания битумной эмульсии в смеси.

Общие зависимости влияния напряжения на деформацию слоя смеси фракции асфальтогранулята имеют следующий вид:

$$K_{\sigma 06} = -0,072\sigma^2 + 1,04\sigma - 0,005, \quad (3)$$

где σ – напряжение в зоне контакта с поверхностью слоя, МПа, Коэффициент корреляции уравнений равен 0,99.

Величина остаточной деформации слоя при действии нагрузки зависит от толщины слоя при укладке. Для установления влияния толщины слоя на деформацию слоя представим данные на рис. 3-5 в относительных величинах, принимая деформацию при толщине слоя 0,05 м за единицу, независимо от напряжения и содержания битумной эмульсии в смеси (рис. 7). Обозначим данную величину через относительный коэффициент (K_h), зависящий от толщины слоя.

Из представленных данных на рис. 7 видно, что с увеличением толщины слоя значение коэффи-



циента K_h возрастает, независимо от содержания битумной эмульсии в смеси. Зависимости для определения коэффициентов K_h для слоев фракций с разным содержанием битумной эмульсии представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Зависимости для расчета коэффициентов K_h

Фракция	% битумной эмульсии	Зависимость $K_h=f(h)$
5-20 мм	2	$44h^2+4,2h+0,68$
	4	$-70h^2+26,1h+0,13$
	6	$-50h^2+17,1h+0,27$
10-20	2	$106h^2-13,1h+1,39$
	4	$34h^2+6,1h+0,61$
	6	$-18h^2+9,7h+0,56$
20-40	2	$-68h^2+16,6h+0,34$
	4	$52h^2+0,2h+0,86$
	6	$74h^2-9,5h+1,29$

В табл.5: h – толщина слоя, м. Коэффициент корреляции уравнений находится в пределах 0,98-0,99.

С учетом установленных значений коэффициентов K_σ и K_h , величина остаточной деформации слоя фракций, с учетом содержания битумной эмульсии в смеси, определяется по формулам, представленным ниже:

- фракция размером 5-20 мм:

$$\lambda_{2\%} = 6,94K_{\sigma c}K_h,$$

$$\lambda_{4\%} = 8,97K_{\sigma c}K_h, \quad (4)$$

$$\lambda_{6\%} = 13,771K_{\sigma c}K_h,$$

- фракция размером 10-20 мм:

$$\lambda_{2\%} = 2,57K_{\sigma c}K_h,$$

$$\lambda_{4\%} = 3,9K_{\sigma c}K_h, \quad (5)$$

$$\lambda_{6\%} = 5,19K_{\sigma c}K_h,$$

- фракция размером 20-40 мм:

$$\lambda_{2\%} = 3,15K_{\sigma c}K_h,$$

$$\lambda_{4\%} = 4,4K_{\sigma c}K_h, \quad (6)$$

$$\lambda_{6\%} = 7,45K_{\sigma c}K_h,$$

где K_σ и K_h – безразмерные коэффициенты, определяемые по табл. 4,5.

Из представленных данных на рис. 7 видно, что размер фракций асфальтогранулята влияет на величину остаточной деформации слоя при общей закономерности повышения коэффициента K_h с увеличением толщины слоя независимо от содержания битумной эмульсии в смеси.

Значение общего коэффициента K_h для разных фракций асфальтогранулята определяется по формулам:

- фракция размером 5-20 мм:

$$K_{hф} = -22,66h^2+15,6h+0,28, \quad (7)$$

- фракция размером 10-20 мм:

$$K_{hф} = 45,3h^2+1,47h+0,81, \quad (8)$$

- фракция размером 20-40 мм:

$$K_{hф} = 66,67h^2-1,07h+0,89. \quad (9)$$

Известно, что с увеличением вяжущего в смеси изменяются ее свойства. Для уточнения влияния содержания битумной эмульсии на деформацию

слоя представим данные на рис. 7 в относительных величинах, принимая деформацию каждого слоя при толщине 0,05 м и содержании эмульсии в смеси 2% за единицу. Обозначим данную величину через коэффициент влияния содержания эмульсии в смеси на деформацию слоя K_ε . Влияние содержания битумной эмульсии в смеси, с учетом размера фракций асфальтогранулята представлено на рис. 8.

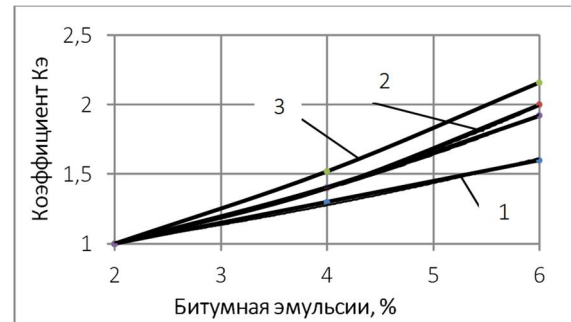


Рис. 8. Влияние содержания битумной эмульсии на коэффициент K_ε : 1 - фракция размером 5-20мм; 2- 10-20 мм; 3 – 20-40 мм

Общая зависимость величины коэффициента K_ε для фракции определяется по формулам:

- фракция размером 5-20 мм:

$$K_\varepsilon = 0,8e^{0,12\varepsilon}, \quad (10)$$

- фракция размером 10-20 мм:

$$K_\varepsilon = 0,7e^{0,17\varepsilon}, \quad (11)$$

- фракция размером 20-40 мм:

$$K_\varepsilon = 0,69e^{0,19\varepsilon}, \quad (12)$$

где ε – процентное содержание эмульсии в смеси. Коэффициент корреляции уравнений равен 0,99.

С учетом установленных зависимостей влияния коэффициента напряжения (K_σ), коэффициента влияния толщины слоя (K_h) и влияния содержания битумной эмульсии на остаточную деформацию слоя зависимости для определения остаточной деформации асфальтогранулобетонной смеси определяются по формулам:

- фракции размером 5-20 мм:

$$\lambda = 5,55K_{\sigma об}K_{h об}e^{0,12\varepsilon}, \text{ мм} \quad (13)$$

- фракция размером 10-20 мм:

$$\lambda = 1,8K_{\sigma об}K_{h об}e^{0,17\varepsilon}, \text{ мм} \quad (14)$$

- фракция размером 20-40 мм:

$$\lambda = 2,17K_{\sigma об}K_{h об}e^{0,19\varepsilon}, \text{ мм}. \quad (15)$$

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- введение в состав асфальтогранулята битумной эмульсии в процессе приготовления асфальтогранулобетонной смеси влияет на деформативную способность смеси независимо от толщины слоя и размера ее фракций. При добавлении эмульсии в состав смеси до 2% происходит снижение деформативной способности слоя, что можно объяснить увеличением сил сцепления при образовании контактов



между частицами смеси. С повышением содержания эмульсии в смеси сопротивление действующей нагрузке снижается за счет увеличения толщины битумной пленки на поверхности частиц, которая выполняет роль смазки при контактировании частиц асфальтогранулята под действием нагрузки при формировании структуры слоя;

- при выборе параметров уплотняющих машин для обеспечения качества работ при устройстве дорожных одежд необходимо учитывать содержание битумной эмульсии в составе асфальтогранулобетонной смеси.

Библиографический список

1. Зарапина, Л.С. Эффективность применения асфальтогранулята при ремонте и реконструкции автомобильных дорог / Л.М. Макая, С.А. Сенибабнов, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М. 2022. С. 346-349.

2. Piletskii, M.E. Influence of the load-carrying capacity of vehicles when performing repair works of road pavements by means of the jet-injection method / M.E. Piletskii, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. № 1 (45). С. 42-54.

3. Зарапина, Л.С. Влияние свойств материала, получаемого при холодном фрезеровании покрытий нежест-

кого типа, на деформацию слоя при устройстве дорожной одежды / Л.С. Зарапина, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 1 (65). С. 85-95.

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

5. Калгин, Ю.И. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов / Ю.И. Калгин, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков // Воронеж, 2014. 223с.

6. Зубков, А.Ф. Технология строительства и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с учетом температурных режимов асфальтобетонных смесей: монография / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, А.И. Антонов, В.Г. Однолько // Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. - 316 с.

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

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

9. Сенибабнов, С.А. Влияние толщины слоя асфальтогранулята на выбор параметров катков при укреплении обочин автомобильных дорог / С.А. Сенибабнов, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // Приволжский научный журнал. 2020. №4 (56). С. 163-173.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Научная статья
УДК 691
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_2_39

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АРБОЛИТОБЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ ЖИДКОЙ СЕРОЙ

© Авторы 2025
SPIN: 1941-0360

ИСАКУЛОВ Баизак Разакович
доктор технических наук, профессор
Актюбинский университет имени С. Баишева
(Казахстан, Актюбе, e-mail: mr.baizak@mail.ru)

SPIN: 9822-5384

АКУЛОВА Марина Владимировна
доктор технических наук, профессор
Ивановский государственный политехнический университет
(Россия, Иваново)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения долговечности арболитобетонных композитов методом пропитки жидкой технической серой. В нефтедобывающих регионах Казахстана в огромном количестве накапливается сернистые отходы от переработки нефти, нанося при этом очень значительный вред окружающую среду. По этой причине утилизация этих отходов как пропиточного материала в производстве строительных материалов является актуальным. Глубокая пропитка расплавленной жидкая сера способствует повышению долговечности и физико-механические характеристики низкопрочных арболитобетонных композитов. Полученных результатов исследования можно рекомендовать при строительстве подземных и инженерных сооружениях.

Ключевые слова: пропитка; сера-отход; арболитобетон; долговечность; плотность; прочность; привес; расплавления; воздействия

Для цитирования: Исакулов Б.Р., Акулова М.В. Повышение долговечности арболитобетонных композитов методом пропитки жидкой серой // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 39-45. doi:10.51608/26867818_2025_2_39.

Original article

INCREASING THE DURABILITY OF ARBOLITE CONCRETE COMPOSITES BY IMPREGNATION WITH LIQUID SULFUR

© The Author(s) 2025

ISAKULOV Baizak Razakovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Baishev University Aqtobe
(Kazakhstan, Aktobe)

AKULOVA Marina Vladimirovna
Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivanovo State Polytechnic University
(Russia, Ivanovo)

Abstract. The article deals with the issues of increasing the durability of arbolite concrete composites by impregnation with liquid technical sulfur. In the oil-producing regions of Kazakhstan, a huge amount of sulfurous waste from oil processing is accumulated, causing very significant harm to the environment. For this reason, the utilization of these wastes as impregnation material in the production of building materials is relevant. Deep impregnation of molten liquid sulfur contributes to the increase of durability and physical and mechanical characteristics of low-strength arbolite concrete composites. The obtained research results can be recommended in the construction of underground and engineering structures.

Keywords: impregnation; sulfur-waste; arbolite concrete; durability; density; strength; weight gain; melting; impacts



For citation: Isakulov B.R., Akulova M.V. Increasing the durability of arbolite concrete composites by impregnation with liquid sulfur // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 39-45. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_39.

Введение. В Казахстане накоплены очень много сернистых отходов от переработки и очистки высокосернистой нефти. Так, как техническая сера обладает очень большой токсичностью, она постоянно загрязняет окружающую среду нефтедобывающих областей Казахстана, нанося существенный вред для населения страны. Утилизация сернистых отходов в производстве строительных материалов как добавка к вяжущему веществу, а также пропитка, обладающих невысокой прочностью, строительных изделий является приоритетным научным направлением и способствует решению эколого-экономических задач страны.

Техническую серу в производстве строительных материалов применяли в начале двадцатого века в США и Великобритании и затем её начали использовать в бывшем Советском Союзе. В основу этого новшества положено свойства технической серы, которая плавится при температуре от 112 до 115°C, а при охлаждении до температуры 100°C кристаллизуется и преобладает повышенной прочностью. Серобетоны получают путем смешивания крупного и мелкого заполнителей в разогретом состоянии с расплавом серы. При охлаждении смесь затвердевает. Такой бетон быстрее набирает прочность по сравнению с обычным и обладает высокой химической стойкостью и кислотоустойчивостью. Недостатком этих бетонов является то, что они очень энергозатратные, так, как при изготовлении серобетоны должны быть постоянно быть в разогретом состоянии [1-3].

В научных работах указывается, что в первой половине двадцатого века серу начали использовать для крепления металлических болтов в бетонных фундаментах, стоек перил лестничных площадок и маршей. В них изучены технологические факторы, влияющие на процесс пропитки, такие как возраст и влажность бетона, вязкость пропиточного состава и влияние на структуру бетона поверхностно-активных веществ. Также составлены рекомендации по гидроизоляции железобетонных плит покрытий методом пропитки сернистыми композициями в условиях сухого жаркого климата [1-3].

Проведенные исследования по пропитке бетонов серой были направлены на улучшение технологии частичной пропитки и на изучение физико-механических свойств бетона с учетом долговечности. Установлено, что пропитка бетона серой позволяет значительно улучшить ее исходные характеристики. Улучшение этих характеристик зависит от привеса серы и глубины пропитки. Изучено влияние влажности бетона на интенсивность пропитки и установлена

необходимость предварительной сушки бетона для исключения возможности образования полисульфидов, которые со временем могут превращаться в сульфаты, являющиеся агентами разрушения бетона. В первом случае происходит увеличение объема за счет расширения гидросульфатоалюминатов кальция, а во втором - выщелачивание серы без разрушения бетона [4-6].

В последнее время в Казахстане и также в других нефтедобывающих странах мира внимание ученых особо привлекают к способу уплотнения порового межзернового пространства бетонов путем его пропитки мономерами, олигомерами, а также отходом нефтегазовой промышленности, расплавленной жидкой технической серой. Изучены вопросы влияния возраста бетона, водоцементного отношения, времени пропитки, способа отверждения, серы и температуры бетона при погружении на свойства пропитанного бетона. Установлено, что температура бетона при погружении и способ отверждения серы не оказывают существенного влияния на результаты пропитки [7-9].

Для повышения долговечности и улучшения физико-механических характеристик строительных материалов и изделий, используемых при различной агрессивной среде, применяется методы пропитки мономерами, олигомерами и расплавленной серой для последующей их полимеризацией в поровой структуре бетона. Результаты исследований показали, что бетоны, обработанные мономерами, обладают высокой сульфатостойкостью, морозостойкостью, износостойкостью и стойкостью к воздействию дистиллированной воды. В качестве пропиточных композиций были использованы метилметакрилат, бутил акрилат. Полимеризация проводилась радиационным методом или в присутствии катализаторов при повышенных температурах - термokatалитическим методом [10-11].

Исследователями описываются научные работы по пропитке шлакощелочных и серосодержащих арболитобетонов расплавленной жидкой серой. Результаты исследования показали, что пропитка серой очень существенно влияет на повышение физико-механических свойств арболитобетонов. Недостатком этого исследования является, что в процессе пропитки серосодержащие арболитобетоны расплавляются и теряют геометрические формы [12-14].

В работах показаны способы пропитки строительных материалов и изделий органического и неорганического происхождения, обладающих системой замкнуто-открытых капилляров. Систематические поиски новых способов антифильтрационной



защиты показывают, что существующие приемы по тем или иным причинам не удовлетворяют в полной мере предъявляемым к ним требованиям. По нашему мнению, при соприкосновении с твердой поверхностью зерен дисперсоида или твердой матрицы молекулы пропиточной жидкости под действием физико-химических явлений проникают в пустоты и остаются там в первоначальном виде или под воздействием температуры, катализаторов и радиации переходят в необратимое состояние [15-17].

Арболит относится разновидностям легких бетонов, в качестве крупного заполнителя в основном выступают различные отходы растительности. Также арболитобетонные композиты в зависимости от составляющих компонентов имеет средней плотность в пределах от 400 до 1200 кг/м³ и обладает прочностью от 1,0 МПа до 5,0 МПа. К недостаткам этих арболитобетонных композитов можно отнести их малую прочность и стойкость. Для защиты от воздействия агрессивных внешних факторов, а также повышения строительно-технических показателей, пористые арболитобетонные изделия растительного происхождения можно обрабатывать методом пропитки технической серой [18-20].

Целью исследования является повышения эксплуатационных показателей легких арболитобетонов способом пропитки технической серой для использования их в подземных и инженерных сооружениях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование воздействия расплавленной жидкой серы на физико-механические свойства менее прочных арболитобетонных изделий.

2. Сравнивая результаты исследования, определить оптимальный вариант арболитобетонного изделия с более высокими физико-механическими и строительно-техническими показателями.

Материалы и методы исследования. Для изготовления арболитобетонных изделий использовали портландцемент марки 400 из Навоинского цементного завода. Принятые цементы соответствует по требованиям Государственному стандарту «Цементы общестроительные» 31108-2020. Ниже приведены химический состав цемента. Содержание основных оксидов: CaO - 61,48%; SiO₂ - 23,38%; Al₂O₃ - 6,38%; Fe₂O₃ - 6,09%; R₂O - 0,38%; SO₃ - 0,60%. Содержание основных минералов: C₃S - 57,6%; C₂S - 17,40%; C₃A - 7,90%; C₄AF - 13,10%.

В качестве активной минеральной добавки использована зола-унос Астанинского теплоэнергетического центра ТЭЦ, удовлетворяющая требованиям Государственного стандарта 10181-2000. Химический состав золы-уноса приведены ниже. Содержание оксидов в составе золы-уноса следующая: SiO₂ - 48,3%; Al₂O₃+TiO₂ - 23,92%; Fe₂O₃ - 5,94%;

CaO - 9%; MgO - 1,9%; NaO₂ - 0,18%; SO₂ - 0,52%. Потери при прокаливании составляет 7,33%.

В качестве пропиточного материала мы использовали отход высокосернистой нефти - техническую серу Атырауского нефтехимического завода Республики Казахстан. Техническая сера представляет собой твердое кристаллическое вещество желтоватым цветом и температурой плавления от 115 до 119°C (см. рис.). Когда температура повышается до 200°C переходит в вязкое состояние и при 450°C переходит к процессу кипения и затем резко сгорает. Ниже приведены химический состав и наименования доли веществ в составе технической серы сорта № 9998. Доля чистой технической серы - 99,060%; доля золы - 0,40%; доля различных органических веществ - 0,053%; доля воды в составе серы - 0,010%.



Рис. Внешний вид технической серы отхода

Для проведения опытных работ по пропитке серой отходами подготовлены три серии арболитобетонных образцов, каждая серия состояла из девяти образцов (кубов с размерами 100x100x100 мм) с различными вяжущими составами. Химические составы различных органических заполнителей в составе арболитобетонных композитов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Химические составы различных органических заполнителей в составе арболитобетонных композитов

Наименование органического заполнителя	Количество, в %	Наименование органического заполнителя	Количество, в %	Наименование органического заполнителя	Количество, в %
Отходы кукурузы		Отходы измельченного тростника		Отходы измельченных стеблей хлопчатника	
Целлюлоза	46,17	Целлюлоза	43,7	Целлюлоза	45,7
Лигнин	29,76	Лигнин	25,2	Лигнин	23,2
Пентозан	22,00	Пентозан	24,4	Пентозан	26,4
Растворимые компоненты	2,07	Растворимые компоненты	5,7	Растворимые компоненты	4,7



Первая серия образцов изготовлена с использованием пористых отходов початки кукурузы с размерами 20-30 мм, а вторая серия - с использованием измельченного тростника с размерами 30-40 мм и третья серия - на основе измельченных стеблей хлопчатника с размерами 18-30 мм. Все эти арболитобетонные образцы изготавливались строго в технологической последовательности и подвергались испытаниям в соответствии с ГОСТ 19222-2019. После проведения всех испытательных процедуры, все образцы кубов мы пропитывали расплавленной жидкой серой при температуре 115 до 120°C. Так как целью нашего исследования было изучение воздействия расплавленной жидкой серы на физико-механические свойства менее прочных арболитобетонных композитов, поэтому для пропитки подготовили три серии простых цементных арболитобетонных композитов различными составами и физико-механическими свойствами.

Пропитку арболитобетонных композитов производили гидростатическим способом, когда пропитываемое изделие погружается в расплавленную жидкость технической серы и проникание ее в капиллярно-пористое тело происходит за счет капиллярного подсоса и гидростатического давления. С технологической точки зрения установки для пропитки пористой структуры строительных изделий представляют собой ряд взаимно связанных агрегатов, работающих, как правило, при нормальном атмосферном или повышенном давлении и обеспечивающих следующие основные операции: загрузку исходного сырья; выпаривание и удаление химически несвязанной влаги из капиллярно-пористого тела и веществ, предназначенных для пропиточных целей; дозировку и приготовление сложных составов пропиточных жидкостей; пропитку структуры капиллярно-пористых тел по заранее отработанной технологии; охлаждение или прогрев пропитанных капиллярно-пористых строительных элементов.

Методика исследования физико-механических свойств, пропитанных арболитобетонных образцов, проводится по следующей последовательности. Предел прочности на сжатие при изгибе определяли на образцах-кубах с ребрами 100x100x100 мм и на призмах размеров 100x100x400 мм в соответствии с ГОСТ 10181-2000 [23]. Призменную прочность и начальный модуль упругости при сжатии определяли на призмах размером 100x100x400 мм согласно в соответствии с ГОСТ 19222-2019 [22] и ГОСТ 10181-2000 [23]. Измерение продольных и поперечных деформаций производили с помощью электротензометрического метода. Величину водопоглощения, водонепроницаемость и величину коэффициента фильтрации пропитанного серой арболитобетонных определяли по методике ГОСТ 12730.1-2020 на призмах размером [24]. Пористость и распределение пор

арболитобетонных по размерам изучали с помощью ртутной порометрии на установке П-3М, состоящей из порометров низкого и высокого давления.

Пропитку арболитобетонных образцов расплавленной жидкой технической серой можно проводить в следующей технологической последовательности. Для проведения обезвоживания в капиллярно-пористых структурах арболитобетонных композитов надо производить предварительную сушку с нагревом в течение от 6 до 10 часов при температуре 125-145°C. Высушенные до постоянной массы арболитобетонные композиты пропитать расплавленной серой при температуре от 125 до 185°C в течение от 2 до 12 часа. Постепенное равномерное охлаждение пропитанных расплавленной жидкой серой арболитобетонных образцов на требуемую глубину доводить до температуры окружающей среды в течение от 2 до 4 часов. Учитывая все эти факторы технология пропитки арболита с расплавленной жидкой серой можно утверждать, что весь технологический цикл пропитки арболитобетонных образцов жидкой серой продлится от 2 до 12 часов.

Результаты исследования. В ходе исследования пропитки серой-отходом образцов арболитобетонных изделий с различными составами нами установлены, что во всех образцах пропитанных расплавленной жидкой серой повышалась средняя плотность образцов на 10-17%. Нами также установлено, что в арболитобетонных образцах на основе отходов кукурузы плотность образцов увеличилась от первоначального состояния на 14-16% и достигала 721 кг/м³. Также в арболитобетонных образцах на основе отходов кукурузы в зависимости от продолжительности пропитки прочность повышается от 6,9 до 8,9 МПа соответственно (серия №1). Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Изменение свойств арболитобетонных изделий на основе отходов кукурузы после пропитки жидкой серой (Серия – №1)

Характеристика арболитобетонных изделий	Единица измерения	Арболитобетон до пропитки	Арболитобетон после пропитки
Прочность при сжатии	МПа	2,5 -3,0	6,9 – 8,9
Прочность при растяжении	МПа	0,4-0,45	1,06 – 1,35
Средняя плотность	кг/м ³	600-630	700 -721
Теплопроводность	ккал/м, °C	0,08	0,11
Морозостойкость	циклы	25	50

А в арболитобетонных образцах на основе измельченного тростника после пропитки продолжительностью в 12 часов средняя плотность повысилась (от первоначального состояния) на 12-15% и до



стигла до 715 кг/м³. Предел прочности у этих образцов в зависимости от продолжительности пропитки расплавленной жидкой серой повысился от 6,5 до 8,3 МПа (серия №2). Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение свойств арболитобетонных изделий на основе измельченного тростника после пропитки жидкой серой (Серия – 2)

Характеристика арболитобетонных изделий	Единица измерения	Арболитобетон до пропитки	Арболитобетон после пропитки
Прочность при сжатии	МПа	2,7 -3,2	6,5 – 8,3
Прочность при растяжении	МПа	0,4 -0,5	1,0 – 1,2
Средняя плотность	кг/м ³	620 -650	705 - 715
Теплопроводность	ккал/м, °С	0,09	0,12
Морозостойкость	циклы	25	50

Также установлено, что средняя плотность всех арболитобетонных образцов на основе измельченных стеблей хлопчатника после пропитки повысилась на 5-7% от первоначального состояния и составило 745 кг/м³, а их предел прочности увеличился значительно и достиг от 6,7 до 7,7 МПа (серия №3). Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4. Изменение свойств арболитобетонных изделий на основе измельченных стеблей хлопчатника после пропитки (серия – 3)

Прочность при сжатии	МПа	3,2 – 4,0	6,7 – 7,7
Прочность при растяжении	МПа	0,5 -0,6	1,1 – 1,25
Средняя плотность	кг/м ³	670 - 700	730 - 745
Теплопроводность	ккал/м, °С	0,11	0,15
Морозостойкость	циклы	50	55

Итоги исследования в соответствии поставленной задачей установлено:

1. Во всех арболитобетонных изделиях наблюдается значительное увеличение привеса серы от 4,2 до 10,2% в составе легких бетонов в зависимости от продолжительности пропитки. Привес массы и увеличение средней плотности пропитанных арболитобетонных образцов можно объяснить содержанием и изменением структурной пористости целлюлозных органических заполнителей в составе пропитанного легкого бетона. На эту величину, а также изменение физико-механических свойств, пропитанных арболитобетонных образцов, существенное влияние оказывает продолжительность и способы пропитки. Можно здесь отметить, что во всех пропитанных образцах отмечается увеличение механической прочности и средней плотности. Ис-

пытание пропитанных серой-отходом арболитобетонных образцов на сжатие показало, что все образцы без исключения повысили свою механическую прочность от 1,5 до 3,5 раза. Нами также установлено, что с увеличением времени и продолжительности пропитки от 2 до 12 часов отмечается интенсивное повышения прочности у пропитанных образцов. Дальнейшая пропитка и выдержка арболитобетонных образцов в расплавленной сере значительное влияния на физико-механические характеристики арболитобетонных композитов не оказывает.

2. Наибольшим ростом прочности в процессе пропитки серой-отходом наблюдалось у арболитобетонных изделий, изготовленных на основе пористых отходов кукурузной початков - при 12-часовой пропитке их прочность повышались до 8,9 МПа. Полученные результаты исследований приведены в таблице 2. При этом величина коэффициента упрочнения для всех видов арболитобетонных образцов друг от друга существенно отличается. В арболитобетонных образцах на основе отходов кукурузы коэффициент упрочнения составляет в диапазоне от 1,48 до 3,10. А двух других арболитобетонных образцах коэффициент упрочнения составляет 1,42 - 2,37 и 1,2 – 1,88. Самым низким коэффициентом упрочнения обладает арболитобетонные композиты на основе измельченного тростника, а самым высоким показателем коэффициента упрочнения обладает арболитобетонные композиты на основе отходов кукурузы. По сравнению результатов исследований нами установлено, что со всех испытанных арболитобетонных образцов, после пропитки расплавленной серой-отходом, самым прочным показателем обладает арболитобетонные композиты на основе отходов кукурузы. После 12-часовой пропитки серой средняя плотность арболитобетонных образцов увеличилась от 630 до 721 кг/м³, а прочность достигла до 8,9 МПа. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Пропитка арболитобетонных композитов расплавленной жидкой серой показывает высокие качества изучаемых легких бетонов.

Обсуждение результатов. После пропитки арболитобетонных образцов расплавленной жидкой серой в структуре арболита не происходит каких-либо химических реакций, которые влияют на физико-механические характеристики. Таким образом, увеличение прочности арболитобетонных композитов, пропитанного серой, зависит главным образом от прочности бетона-матрицы и степени заполнения пор пропиточным материалом. В этом случае очень значительное влияние имеет пористое строение арболитобетона, вызывающие отсасывание жидкой серы арболитом сразу после его пропитки, что приводит к усилению его сцепляющих свойств между расплавленной жидкой серой и неровными шероховатыми поверхностями органического заполнителя.



Опираясь на наши наработанные данные и теоретические выкладки ряда авторов [4; 6; 9-10; 16], мы пришли к выводу, что в случае использования технической жидкой серы, как пропиточного материала, наиболее значительным фактором является наличие трехмерного каркаса в пористых органических заполнителях арболитобетонного композита. Который увеличивает при этом сцепляющие прочностные контактной зоны органических заполнителей и вяжущих веществ, благодаря совместному адгезионному воздействию арболитобетона и технической серы, способствующих объемным заполнением пор и трещин расплавленной жидкой серой и приводящими к упрочнению контактной зоны разрабатываемых материалов.

Новизна исследовательской работы заключается в том, что предложенный нами метод пропитки низкопрочных пористых арболитобетонных композитов на основе отходов кукурузы, измельченного тростника и измельченных стеблей хлопчатника с технической серой привели к повышению физико-механических свойств изучаемых материалов. После пропитки серой плотность исследуемых образцов, особенно образцы на основе отхода кукурузы, повышалась до 721 кг/м^3 , а прочность увеличилась до 8,9 МПа.

Также установлена зависимость между его кубиковой прочностью и прочностью бетона-матрицы арболитобетонных композитов. Практической значимостью данного исследования являются полученные результаты, которые могут быть рекомендованы для строительства сооружений, к которым в процессе эксплуатации предъявляются повышенные требования по морозостойкости, водонепроницаемости, водостойкости и химической стойкости.

Хотя исследование по пропитке низкопрочных арболитобетонных композитов серой отходом охватывает важные аспекты темы, данное исследование рассматривает только ограниченное направление строительной отрасли для подземной конструкции.

Несмотря на значимость полученных данных, необходимо провести более широкомасштабные исследования по постановке дополнительных экспериментальных работ по исследованию прочности и деформативности арболитобетонных изделий.

Выводы

В соответствии поставленной целью и задач нашего исследования установлено, что расплавленная жидкая сера оказывает очень значительное влияние на повышение физико-механических показателей и стойкости низкопрочных пористых арболитобетонных изделий. Установлено, что во всех арболитобетонных изделиях наблюдается значительное увеличение привеса серы от 4,2 до 10,2% в составе легких бетонов в зависимости от продолжительно-

сти пропитки и все образцы без исключения повысили свою механическую прочность от 1,5 до 3,5 раз.

Нами также определено, что оптимальным арболитобетонным изделиям с более высокими физико-механическими и строительно-техническими показателями являются арболитобетонные композиты изготовленных на основе отходов кукурузы. После пропитки серой отходом плотность исследуемых образцов повышалась до 721 кг/м^3 , а прочность увеличилась до 8,9 МПа. Эти результаты объясняются тем, что пористое строение органических заполнителей в составе арболитобетона, вызывает отсасывание жидкой серы отхода кукурузы сразу после его пропитки и приводит к усилению его физико-механических свойств.

На базе данных исследований можно разработать методы пропитки для низкопрочных легких бетонов на основе различных составов. Результаты исследования дают ценные идеи в практическом плане для использования их в строительной отрасли при строительстве подземных конструкции. Такими сооружениями могут служить смотровые колодцы, лотки, трубопроводы, градирни, дорожные покрытия, опреснители, элементы морских сооружений и др.

Библиографический список

1. Касимов, И.К., Федотов, Е.Д. Пропитка цементного камня органическими вяжущими. - Л., Стройиздат. 1981. -168 с. ISBN: 66-94-058-678-06.
2. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Tukashev, Z., Konysbaeva, Z. Improvement of Strength Properties of Arbolite Concrete Composites by Impregnation with Sulfur—By-Products of Oil and Gas Industry // Lecture Notes in Civil Engineering, 2023. 282, pp. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-10853-2_1.
3. Орловский, Ю.И., Семченков А.С., Хоржевский В.И. Бетоны и изделия на основе серосодержащих отходов // Бетон и железобетон. 1995. № 3. С. 21-24.
4. Орловский, Ю.И. Полимерсернистые бетоны // Применение серы и серосодержащих отходов в строительной индустрии. 1990. С. 3-5.
5. Патуроев, А.Н., Волгушев, Ю.И., Орловский Ю.И. Свойства и перспективы применения серобетона // Бетон и железобетон. 1985. № 5. С. 16-17.
6. Парфенюк, С.А. Опыт использования серы и серосодержащих отходов в строительстве асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. 1987. № 2. С. 16-20.
7. Улучшение физико-механических свойств легких бетонов путем пропитки серой-отходом нефтегазовой промышленности Казахстана / Жив А.С., Исакулов Б.Р., Сарсенов А.М. // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 4. С. 167-171.
8. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Isakulov, A. The Study of the Impact of Iron and Sulfur Containing Additives on the Strength Properties of Sulfur Containing Binders. Solid State Phenomena, 2022, 334, pp 195–201. DOI: 10.4028/p-25n3i8.



9. Повышение физико-механических свойств легких бетонов путем пропитки отходами нефтегазовой промышленности Казахстана / Исакулов Б.Р., Сарсенов А.М. // Геология, география и глобальная энергия. 2011. № 4 (43). С. 3-8.
10. Sokolova, Y.A., Akulova, M.V., Isakulov, B.R., Kul'sharov, V.B., Isakulov, A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses. *Key Engineering Materials*, 2021, 899 KEM, pp 137–143. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.899.137
11. Баженов, Ю. М. Некоторые особенности структуры, свойств и технологии бетонополимеров / Ю. М. Баженов // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. Тез. докл. - М.: Стройиздат, 1976. С. 33-38.
12. Новый вид химической продукции – полимерная сера / В.А. Бороховский, А.И. Салюк [и др.]. - М.: Изд-во НИИТЭХИМ, 1982. 40 с.
13. Ващук, В.Я. Влияние пористости на прочность бетонополимеров. Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве / В.Я. Ващук, В.П. Долюк. - М.: Стройиздат, 1976. 208 с.
14. Совершенствование физико-механических свойств арболитобетонов методом пропитки серой - отходом нефтегазовой промышленности западного Казахстана / Исакулов Б.Р., Жив А.С., Сарсенов А.М. // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2012. Т. 12. № 1. С. 163-167.
15. Sokolova, YA; Akulova, MV ;Isakulov, BR; Sokolova, AG; Kul'sharov, BB; Isakulov, AB. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials. *News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology*. Volume 6 , pp. 65-72, 2020 . DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99.
16. Isakulov, B., Abdullaev, H., Mukasheva, A., Akishev, U., Ordabayeva, G. Investigation of the formation of microstructure and strength characteristics of slag-alkaline arbolite. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 209-221. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002814>.
17. Isakulov, B.R.; Dzhumabaev, M.D.; Abdullaev, Kh.T.; Konybaeva, Zh.O.; Shalabaeva, S.I. Detoxication and neutralization of toxic industrial waste components for production of sulfur-containing binding construction materials. *International Journal of Engineering Research and Technology*. Volume 13, Issue 12, 1 December 2020, pp. 4880-4884. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85099298768&partnerID=MN8TOARS>
18. Разработка состава и исследование характера формирования прочности арболитовых композитов на основе различных отходов промышленности и растительного сырья / Соколова Ю.А., Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Имангазин Б.А., Кульшаров Б.Б., Толеуов Т.Ж. // Научное обозрение. 2017. № 2. С. 6-14.
19. Ресурсосберегающие технологии получения арболита на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Азии и Африки / Жив А.С., Галебуй С., Исакулов Б.Р. // Механизация строительства. 2013. № 3 (825). С. 14-17.
20. Прочность и деформативность поризованного арболита / Б.Р. Исакулов.- Актобе: Центр научно-технической информации, 2007. 123 с.
21. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия / Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 августа 2020 г. № 453-ст Межгосударственный стандарт ГОСТ 31108-2020 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2021 г. - М.: Стандартинформ. 2020. - 15 с.
22. ГОСТ 19222-2019. Межгосударственный стандарт. Арболит и изделия из него. Общие технические условия / Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июня 2019 г. N 295-ст Межгосударственный стандарт ГОСТ 19222-2019 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2020 г. – М.: Стандартинформ, 2019. - 28 с.
23. ГОСТ 10181-2000. Межгосударственный стандарт Методы испытаний бетонных смесей / Введен в действие с 1 июля 2001 г. в качестве государственного стандарта Российской Федерации постановлением Госстроя России от 14 декабря 2000 г. № 127. – М.: Стандартинформ, 2001. - 20 р.
24. ГОСТ 12730.1- 2020. Бетоны. Методы определения плотности. Издание официальное - М.: Стандартинформ, 2021. - 12 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 19.05.2025; одобрена после рецензирования 2.06.2025; принята к публикации 23.06.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 19.05.2025; approved after reviewing 23.06.2025; accepted for publication 23.06.2025.



Научная статья

УДК 693.547.32 + 891.328.1

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_46

ХЛОРИДНАЯ АГРЕССИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

© Авторы, 2025

SPIN: 1654-0074

МОЛОДИН Владимир Викторович

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск, e-mail: molodin@sibstrin.ru)

SPIN: 4265-7935

ИЛЬИНА Лилия Владимировна

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

ГЛОТОВА Анна Валерьевна

студентка

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск, e-mail: a.glotova@sibstrin.ru)

Аннотация. Предметом данного исследования является рассмотрение процесса воздействия хлоридной агрессии на железобетонные конструкции. Вместе с тем, авторами обосновывается позиция отрицательного влияния хлоридных солей на железобетон, что приводит к негативным последствиям, выраженных в виде уменьшения срока эксплуатации объектов строительства и увеличения роста экономических затрат на их восстановление. В связи с этим, вопрос о сцеплении материала, разрушенного коррозией, с неповрежденным бетоном восстанавливаемой строительной системой, становится первостепенным.

Влияние хлорид-ионов на сооружения представляет собой распространённый процесс, в данной статье описываются случаи его деструктивного воздействия, как в строительстве, так и в других областях инженерной практики, стоит отметить, что коррозионные процессы могут возникать не только в результате активации химически агрессивных элементов, но и многообразия других различных факторов.

Обобщая различные точки зрения учёных, по вышеуказанному явлению, исследователи приходят к выводу о том, что подходы специалистов имеют солидарный характер, касательно эффекта разрушительного действия хлоридной агрессии по отношению к монолитности материала, кроме того, добавляется риск возникновения коррозии арматуры, в том случае, когда в строительстве применяются конструкции из армированного бетона. Как итог, снижение эксплуатационной надёжности и безопасности железобетонной конструкции.

Ключевые слова: железобетон; цементный камень; хлоридная агрессия; разрушение; коррозия; уменьшение срока эксплуатации сооружений; строительные конструкции; строительные материалы

Для цитирования: Молодин В.В., Ильина Л.В., Глотова А.В. Хлоридная агрессия и восстановление железобетонных конструкций // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 46-51. doi:10.51608/26867818_2025_2_46.



Original article

CHLORIDE AGGRESSION AND REHABILITATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

© The Author(s) 2025

MOLODIN Vladimir Victorovich

doctor of technical sciences, professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

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

ILYINA Lilia Vladimirovna

doctor of technical sciences, professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)

GLOTOVA Anna Valeryevna

student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)

Abstract. The subject of this study is the consideration of the process of chloride aggression impact on reinforced concrete structures. At the same time, the author substantiates the position of negative influence of chloride salts on reinforced concrete, which leads to negative consequences expressed in the form of reduction of service life of construction objects and increase in the growth of economic costs for their restoration. In this connection, the question of adhesion of the material destroyed by corrosion with the undamaged concrete of the restored construction system becomes paramount.

The effect of chloride ions on structures is a common process, this article describes cases of its destructive effects, both in construction and in other areas of engineering practice, it is worth noting that corrosion processes can arise not only as a result of activation of chemically aggressive elements, but also a variety of other different factors.

The researcher summarises the different points of view of scientists on the above phenomenon and concludes that the approaches of specialists have a common character, concerning the effect of destructive action of chloride aggression in relation to the monolithicity of the material, in addition, the risk of corrosion of reinforcement is added, in the case when reinforced concrete structures are used in construction. As a result, reduction of operational reliability and safety of reinforced concrete structure.

Keywords: reinforced concrete; cement stone; chloride aggression; destruction; corrosion; reduction of service life of structures; road construction; building materials

For citation: Molodin V.V., Ilyina L.V., Glotova A.V. Chloride aggression and rehabilitation of rein-forced concrete structures // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 46-51. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_46.

Введение. Железобетон – один из часто встречающихся материалов, без которого на сегодняшний день нельзя представить ни одно современное строительство. В настоящее время представляется актуальным вопрос в данной области, связанный с уменьшением срока эксплуатации объектов строительства.

Одним из таких процессов, отличающихся своей распространенностью, является химическая коррозия. Важно отметить, что указанный вид разрушения, несет в себе негативные последствия, оказывающих значительное влияние на материалы, образованные в результате гидратации и твердения цемента. Данное явление встречается в отраслях непосредственно работающих с солями, к ним можно отнести водное хозяйство, предприятия энергетики и дорожное строительство.

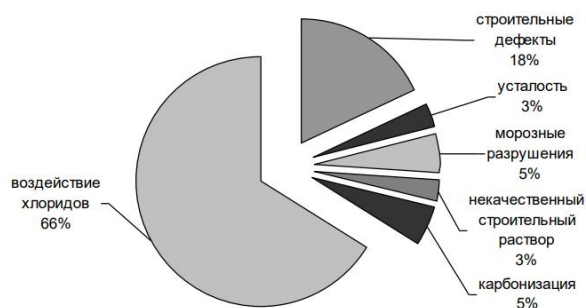


Рис. 1. Причины разрушения [1]

Зачастую коррозия возникает под действием нескольких факторов, а не одного единственного агрессивного элемента [2], в данной статье будет анализироваться разрушение цементного камня под влиянием хлоридной агрессии. Последнее может привести к следующим негативным факторам:



1. Хлорид-ионы способствуют коррозии арматуры, в результате этого снижается несущая способность конструкций [3].

2. Рыхлость цементного камня, в результате чего влага ещё быстрее проникает внутрь изделия, нарушая его монолитность.

3. Повышенные затраты на обслуживание, увеличиваются необходимость в ремонте конструкций и затраты на эксплуатацию зданий и сооружений [4].

Цель данной статьи: исследование характера разрушения бетона под действием хлоридов, а также методов решения данной проблемы, изучение путей восстановления конструкций, подвергшихся этому явлению.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать в каких сферах промышленности наблюдается влияние солей хлора.

2. Изучить природу хлоридной коррозии и особенности разрушения цементного камня под ее воздействием.

3. Проанализировать работы научного сообщества, которые ранее рассматривали данную проблему, а также методы противодействия агрессии хлорид-ионов и способы восстановления железобетонных конструкций.

Объекты строительства, в которых железобетонные конструкции подвергаются хлоридной агрессии. Первостепенное значение для решения поставленных задач, имеют исследования, которые касаются отраслей, непосредственно взаимодействующих с агрессивной средой хлоридов. Аргументируя указанную позицию, обозначим некоторые сферы применения, имеющих отношение к данному процессу.

Так, в системе централизованного водоснабжения качество воды определяется качеством источников, условиями водозабора, эффективностью очистки и обеззараживания воды. Для обеспечения населения качественной питьевой водой необходимо строго придерживаться санитарных норм при проектировании установок для хлорирования. Очистка воды обязательно при использовании поверхностных водоемов, а также при заборе воды из подземных источников, если ее бактериальные показатели не соответствуют стандартам ГОСТ "Вода питьевая". Обеззараживание воды в водопроводах, как правило, должно осуществляться с использованием жидкого хлора [5].

Основу очистных сооружений составляют железобетонные плиты, которые могут разрушаться под воздействием внешних факторов. Аэротенки, преаэраторы, распределительные каналы и илоуплотнители часто подвергаются разрушению из-за потоков воды с высокой концентрацией агрессивных

для железобетона примесей, к последнему так же относится хлор. На этих сооружениях наиболее часто возникают следующие дефекты:

- износ и разрушение защитного слоя бетона;
- оголение и коррозия арматуры;
- трещины и активные течи;
- шелушение и разрушение оголовков конструкций и трапов;
- проседание и шелушение отмонок.

Для того что бы предотвратить разрушение и уменьшить необходимость в ремонта таких сооружений, рекомендуется использовать составы, которые исключают усадку, устойчивы к процессам карбонизации и проникновению хлоридов, а также обладают высокой водонепроницаемостью и необходимой удобоукладываемостью [6].

Что касаяемо дорожного строительства и эксплуатации дорожной поверхности, то для исключения наледи, используются противообледенительные соли, которые способны распределяются от дороги различными транспортными механизмами: дренажем, расчисткой, аэрозолями и брызгами [7]. Для того что бы более точно представить принцип исследуемого вопроса, проиллюстрируем график зависимости между применением солей и процентным содержанием хлора в поверхностных слоях бетонных конструкций.

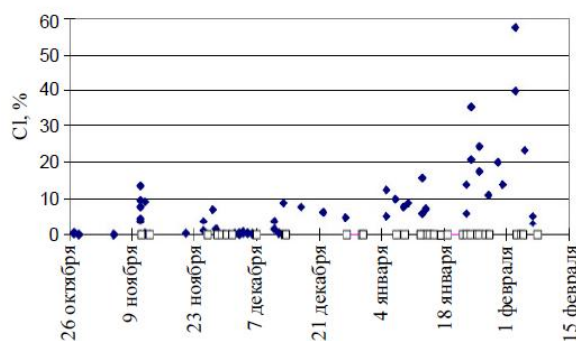


Рис. 2. Содержание хлора в свободной воде на поверхности бетона:

◆ — время применения антиобледенителей [7]

Основным источником воздействия хлоридных солей на железобетонные конструкции является проникновение хлоридов через стыки, а также крупные и мелкие брызги, возникающие в результате движения транспорта [7]. На рис. 3 изображены результаты деструктивного влияния брызг различного размера на автомобильной дороге.

Естественно, увеличение концентрации хлора приводит к разрушению бетона.

Еще одним примером непосредственного контакта железобетона с хлоридными солями может послужить теплоэлектроцентраль. В механизме работы данного предприятия энергетики имеются

станции водоочистки, на склады привозят соль, в том числе и хлориды, вещества ссыпают в стоки с водой, после чего образуется перенасыщенный раствор, воздух складского помещения так же насыщен хлорсодержащими компонентами, вследствие чего эти процессы в комплексе воздействуют на окружающие конструкции.

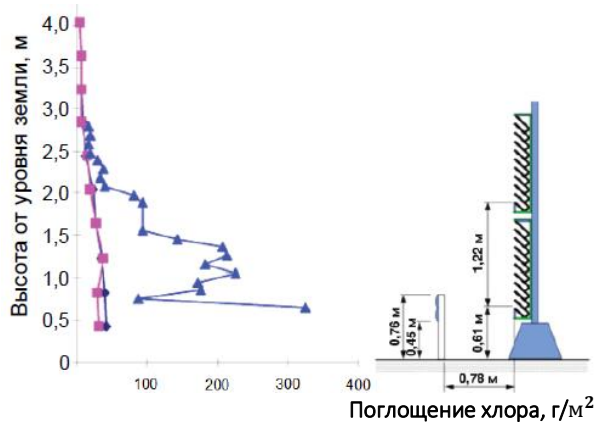
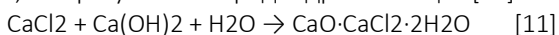


Рис. 3. Воздействие хлора на вертикальную поверхность:
◆ -весна 2006 г.; ■ -октябрь 2006 г.;
▲ -ноябрь 2006 г. [7]

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что действие хлорид-ионов на сооружения — это далеко не частный случай. Явление встречается не только в строительстве, но и других сферах инженерной деятельности.

Природа хлоридной коррозии. Хлоридная коррозия бетона — необратимый процесс, вследствие которого происходит разрушение его структуры, а в результате потеря прочностных свойств материала. Это, в свою очередь, приводит к снижению эксплуатационных характеристик сооружения. Разрушение бетонных элементов начинается с рассыпания или расслоения цементного камня, поскольку устойчивость заполнителей к агрессивной среде выше [8].

Некоторое количество хлоридов может попасть в бетон с исходными материалами на этапе его производства: цементом, заполнителями, водой и добавками [9]. Так, содержащийся в сырьевом материале хлорид натрия в сочетании с аморфными силиконами способствует реакции, в результате которой образуется щелочной силикат. При попадании во влажную среду этот силикат приводит к образованию трещин с белыми потеками. Хлорид кальция также оказывает разрушительное воздействие, реагируя с гидроксидом кальция, содержащимся в бетоне, и образуя оксихлорид гидрата кальция [10]:



При рассмотрении взаимодействия хлоридной агрессивной среды и бетона можно выделить основные негативные факторы, которые способствуют разрушению железобетона: во-первых, дей-

ствие хлорид-ионов является предрасполагающим фактором в возникновении коррозии арматурных составляющих конструкции, в дальнейшем это приводит к появлению и развитию трещин [3]. Во-вторых, рыхлость цементного камня, соли, которые выделяются при взаимодействии хлоридов, вступают в реакцию с гидратом кальция в составе бетона, после чего образуется оксидированный гидрат кальция, количество получившегося вещества превышает объем исходного вещества, именно по этой причине влага ещё быстрее проникает внутрь изделия, нарушая его монолитность [12].



а



б

Рис. 4. Образцы цементного камня:
а) при нормально условиях; б) был выдержан в соляном растворе на протяжении 45-ти суток [8]

Проницаемость бетона в значительной мере зависит от его стойкости к внешним воздействиям. Таким образом, материал должен обладать относительной непроницаемостью. Пористость и капиллярно-пористая структура бетона играют ключевую роль в разрушении цементного камня [13-14].

Во то же время следует подчеркнуть, что коррозионные повреждения железобетонных конструкций в значительной мере увеличивают эксплуатационные расходы на здания и инженерные сооружения, в некоторых случаях превышая сметную стои-



мость их капитального строительства, как в России, так и в других развитых странах. В качестве примера хотелось бы привести статистику в США, где в результате хлоридной коррозии только в 1982 году было повреждено 213 тысяч мостовых железобетонных конструкций, что потребовало 41,1 миллиарда долларов на ремонт, а четыре года спустя такого же рода повреждения были затронуты 244 тысячи конструкций, стоимость ремонта которых составила 50 миллиардов долларов [3].

Таким образом, можно сказать, что хлоридная агрессия действительно оказывает разрушительное воздействие на железобетонные конструкции. В исследованиях [15] показывают, что максимальное содержание хлоридов не всегда располагается в верхнем слое, а может находиться на глубине около 5–10 мм. Часто профили проникновения хлоридов демонстрируют зону конвекции в пределах внешних 5–10 мм, что обусловлено условиями эксплуатации, поэтому с каждым годом вопрос предотвращения химической коррозии, и восстановления поврежденного поверхностного слоя бетона становится все более актуальным.

Способы защиты железобетонных конструкций и пути их восстановления. Защита бетонных конструкций от коррозии условно делится на два типа: первичная и вторичная защита [16].

Первый метод включает в себя меры, осуществляемые на этапе проектирования, производства элементов и начала строительства конструкций. Это включает в себя конструктивные улучшения эксплуатационных характеристик изделий, а также использование модифицирующих добавок, которые влияют на специальные свойства бетонов. К данной защите можно отнести: создание и использование материалов, устойчивых к воздействию агрессивной среды, применение специальных модифицирующих добавок, которые повышают коррозионную стойкость конструкций, снижение проницаемости бетонов.

Вторичная защита конструкций подразумевает предотвращение прямого контакта агрессивных окружающих сред с поверхностью конструкции в ходе эксплуатации зданий и сооружений, к ней можно отнести пропитки и защитные материалы [16].

В случаях, когда меры по защите сооружений не представились эффективными, то необходимыми становятся действия по восстановлению железобетонных конструкций, подвергшихся хлоридной агрессии. Тогда остро встает вопрос о сцеплении между разрушенным и восстанавливаемым бетоном, который достигается благодаря адгезии – способности материала сцепляться ввиду молекулярного взаимодействия, и диффузии, то есть взаимопроникновению частиц одного материала в другой.

Авторы работы [17] описывают следующий процесс: «Диффузия при малых градиентах концентрации, давления и температуры дает слабое проникновение новообразований из бетонной смеси вглубь зрелого бетона с разрушенной силовой структурой. Она не обеспечивает достижения вновь формирующимися кристаллическими сростками глубинных, не тронутых разрушительной коррозией массивов цементного камня...», следственно, в дальнейшем происходит нарушение целостности ремонтируемой конструкции, что заставляет вновь прибегать к необходимости реставрации объекта.

Так же для того что бы восстановить поврежденный бетон существует метод форсированного разогрева смеси, механизм которого описан в [17], способ позволяет частично восстанавливать когезионную прочность материала и помогает в сцеплении при ремонте объектов строительства, разрушенных хлоридной агрессией.

Заключение. По итогам рассмотрения данного вопроса можно сказать, что в ходе циклического насыщения бетона растворами хлоридных солей различной концентрации наблюдается постепенная деградация материала на глубине 5-10 мм, проявляющаяся не только в снижении прочности, но и в механическом повреждении защитного слоя железобетона, данная проблема встречается не только в строительстве, но и других отраслях. Для решения проблемы сокращения нормативного срока полезного использования зданий в работе [17] был предложен метод форсированного разогрева, который частично помогает восстановить когезионную прочность поврежденной части конструкции. На сегодняшний день научные работы, касаемые хлоридной коррозии цементного камня являются востребованными, а вопрос о восстановлении таких сооружений нуждаются в дополнительных исследованиях.

Библиографический список

1. Леонович, С. Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций при комбинированном воздействии карбонизации и хлоридной агрессии и их восстановление / С. Н. Леонович [и др.]; под общ. ред. С. Н. Леоновича. – Минск : БНТУ, 2021. С. 206.
2. Новиков Д.С., Отт И.В. Исследование процесса повреждения железобетонных конструкций хлоридами и их восстановление // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства-сборник научных статей- Гродно, ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. С. 176.
3. Мигунов, В. Н. Влияние жидких хлоридсодержащих сред и переменной эксплуатационной нагрузки на деформационные свойства железобетонных элементов и характеристики коррозионного поражения арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона / В. Н. Мигунов, И. Г. Овчинников, К. В. Шамшина // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 6(31). – С. 144.
4. Мигунов, В.Н. Экспериментально-теоретическое моделирование армированных конструкций в усло-



виях коррозии. Монография / В.Н. Мигунов, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников. – Пенза, ПГУАС, 2014. – 362 с.

5. Инструкция по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении [интернет]. URL: <https://docs.cntd.ru/>

6. Гидроизоляция очистных сооружений: материалы для зачеканки и влагозащиты, эффективные методы и технологии [интернет]. URL: <https://www.akvatron-bhk.ru/gidroizolyaciya/ochistnyh-sooruzhenij>

7. Леонович, С. Н. Воздействие хлоридов на железобетонные конструкции: моделирование проникновения в бетон / С. Н. Леонович, А. В. Прасол // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 34-35.

8. Шабанов, Д. Н. Способ акустическо-эмиссионного исследования внутреннего состояния цементного камня при его хлоридной коррозии / Д. Н. Шабанов, А. Н. Ягубкин, Е. С. Боровкова, Е. А. Трамбицкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. - 2019. - № 16. - С. 42.

9. Розенталь, Н. К. Бетоны высокой коррозионной стойкости и нормирование их характеристик / Н. К. Розенталь, В. Ф. Степанова, Г. В. Чехний // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. – № 3-4(218-219).- С. 16.

10. Коррозия бетона: направления исследований и перспективы [интернет]. URL: <https://law.ru/fox.ru/view/stroitehnolog/101200045804.htm>

11. Коновалова В.С., Методологические принципы повышения долговечности армированных бетонов, эксплуатирующихся в жидких хлоридсодержащих средах: диссертация ... доктора технических наук : 2.1.5. / Коновалова Виктория Сергеевна-Иваново, 2023. – С.19.

12. Почему бетон и железобетон разрушаются под воздействием соли применяемой для очистки льда? [интернет]. URL: <https://dsk-ooo.ru/voprosy-otvety/899-2/>

13. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. - М.: Стройиздат, 1980. 536 с

14. Шестовицкий Д.А., Карапетов Э.С. О хлоридизации железобетонных мостовых сооружений // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 3. С. 20–23.

15. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкая проницаемости. Монография / Н.К. Розенталь. – М: ФГУП ЦПП 2006. – 520 с.

16. Новиков С.Н. Оценка влияния водного раствора хлорида кальция на прочность бетона: дис. маг. 08.04.01/ Новиков С.Н.-Тольятти, 2019-С 31.

17. Молодин В. В., Сцепление бетона восстановления с коррозионно-деструктурированной железобетонной конструкцией / В. В. Молодин, С. Н. Леонович // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 1. – С. 39-41.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Original article

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENT AND DEPTH INDICATOR FOR THE PREDICTION OF MATERIAL DEGRADATION PROCESS IN AQUA SOLUTIONS OF AGGRESSIVE MEDIA

© The Author(s) 2025

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of "Building Structures"
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)

BEZRUKOVA Evgeniya Sergeevna

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

BABUSHKINA Delmira Rafikovna

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk; e-mail: delmira2009@yandex.ru)

ARKHIPOV Igor Vladimirovich

Student
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk; e-mail: delmira2009@yandex.ru)

Abstract. The article provides an overview of the literature related to the determination of the durability of concrete and reinforced concrete products and structures in contact with aggressive media and water. A comparative analysis of methods for determining the main parameters of concrete degradation has been performed. Conclusions are drawn about the optimality of their application.

Keywords: concrete; degradation; diffusion; methods; aggressive media; solutions; depth index

For citation: Analysis of methods for determination of diffusion coefficient and depth indicator for the prediction of material degradation process in aqua solutions of aggressive media / V.P. Selyaev, E.S. Bezrukova, D.R. Babushkina, I.V. Arkhipov // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 52-56. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_52.

Нормативные сроки эксплуатации строительных конструкций назначаются исходя из предшествующего опыта и не имеют расчетно-теоретического обоснования.

Предложения по расчету долговечности строительных конструкций формулируются в общем виде без четкого понимания: о принципах построения расчетных моделей; о методах определения параметров деградации, которые необходимо учитывать и уметь контролировать в процессе эксплуатации.

В работах специалистов по долговечности строительных материалов, бетона и железобетона большое внимание уделяется решению задач массопереноса агрессивной среды в объем изделия. Но до сих пор не предложены корректные методы определения параметров, характеризующих развитие этих процессов.

В работах С. В. Александровского, П. Г. Комохова, В. М. Москвина, В. И. Соломатова, С. С. Гордона, В. Ч. Бабушкина, Ф. М. Иванова, А. Ф. Полака, Ш. М. Рахимбаева, Д. А. Франк-Каменецкого, В. П. Селяева [1-9] детально рассматривались вопросы кинетики процессов взаимодействия материалов (твердых тел) с агрессивными средами, предлагались на основе экспериментальных и теоретических исследований методы прогнозирования и оценки эксплуатационного состояния изделий и конструкций. Но единой теории расчета долговечности строительных конструкций до сих пор нет. Очевидно, что формирование принципов расчета долговечности строительных конструкций в современных условиях должно опираться на экспериментальные данные и фундаментальные законы: механики деформируемых твердых тел; теории вероятностей; механики разрушения; фрактальной геометрии; кинетики процессов



физического и механического взаимодействия материалов конструкций с окружающей средой.

В предлагаемой статье будет сделана попытка обобщить результаты работ авторов [7-9] и предложить методы определения основных параметров деградации бетона при его взаимодействии с жидкими агрессивными средами – глубинный и прочностной.

В предыдущих работах авторами были предложены деградационные модели и функции, которые давали возможность описать изменение во времени эксплуатационной пригодности железобетонной конструкции [8-9].

Одним из основных параметров деградационных функций является глубинный показатель, который определяет границы области поперечного сечения, поврежденного в процессе эксплуатации. При действии жидких агрессивных сред материал конструкций начинает разрушаться с внешних слоев и за счет развития диффузионных процессов граница поврежденной области отодвигается вглубь объема изделия.

Для прогнозирования развития этого процесса необходимо создать математическую модель, которая давала бы возможность теоретически определить координаты границы поврежденной зоны (глубинный показатель деградации).

В предыдущих работах были рассмотрены варианты определения изменений значений глубинного показателя в процессе эксплуатации [7-9]. Из анализа расчетных моделей и экспериментальных данных следует, что корректность их определения зависит от точности определения коэффициента диффузии D , который является константой в уравнениях массопереноса Фика.

В общем случае, по мнению специалистов, глубинный показатель а следует определять по формуле:

$$a = k \cdot t^\gamma, \quad (1)$$

где k – константа скорости деградации; t – длительность контакта бетона с агрессивной средой; γ – показатель степени. Для бетона $k = 3,3 \sim 4,1$; $\gamma = 0,45 \sim 0,55$.

В работах авторов показано, что формулу 1 можно получить из решения второго уравнения Фика, описывающего процесс переноса множества частиц вещества в твердом теле [8].

Одномерный нестационарный процесс диффузии предложено моделировать уравнением вида:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

Так как перенос жидкости в бетонах характеризуется высокими значениями критерия Био (B_i) и малыми значениями критерия Фурье (F_o), то при решении уравнения диффузии жидкости в полубесконечное пространство с учетом условия $c = c_o$ при $x = 0$ и $t \geq 0$, $c = c_n$ при $t = 0$ и $0 \leq x \leq \infty$, получаем:

$$c(x, t) = A \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2} \sqrt{Dt} + B \right) \quad (3)$$

После некоторых преобразований, обозначив соотношение $[c(a) - c_n]/[c_o - c_n]$ через ξ , получаем:

$$a = k(\xi) \sqrt{Dt} = k(\xi) \sqrt{Dt}^{0,5} \quad (4)$$

Подобие формул (1) и (4) очевидно.

В работах, направленных на повышение эффективности, точности формул (1) и (4), основное внимание уделяется разработке предложений, обоснований по определению константы скорости деградации k .

Хаккинен предложил определить значение k по формуле:

$$k = c_{oc} \cdot c_b \alpha \beta, \quad (5)$$

где c_{oc} и c_b – коэффициенты, характеризующие окружающую среду; α и β – константы, зависящие от вида наполнителя; B – класс бетона по прочности.

Г. Ф. Паррот предложил определять константу скорости деградации по формуле вида:

$$k = \frac{64 \Pi^{0,4}}{m_o^{0,5}}, \quad (6)$$

где Π – паропроницаемость бетона; m_o – концентрация гидроксида кальция в объеме цементного камня.

Л. Ситтерот предложил определять k в зависимости от водоцементного отношения, если:

$$B/C > 0,65, \text{ то } k = 2b(B/C - 0,3)^2 + 1,6; \quad (7)$$

$$B/C < 0,65, \text{ то } k = \frac{(46B/C - 17,6)}{2,7}$$

В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов предполагая, что деградация бетона процесс затухающий, рекомендуют формулу:

$$a = a_o (1 - e^{-2t}), \quad (8)$$

где a_o – предельное значение координаты глубины повреждения.

А. И. Минас обосновывает применение формулы вида:

$$a = 0,5b \left[1 - \frac{P_k}{P_n} \right]^h, \quad (9)$$

где P_k и P_n – разрушающая нагрузка для образцов, хранившихся в агрессивном растворе и воде, соответственно; b – размер стороны квадратного сечения; h – показатель степени, равный $\frac{1}{2}$ – для сжатых и $\frac{1}{3}$ – для изгибаемых образцов.

Тамман предложил для гетерогенных процессов определять толщину слоя продуктов коррозии формулой:

$$a = k \sqrt{L D c_o t}, \quad (10)$$

где D – коэффициент диффузии; k – коэффициент пропорциональности; c_o – концентрация диффундирующего компонента.

Ш. М. Рахимбаев и Н. М. Авершина предложили следующие уравнения для описания процесса переноса агрессивной среды в материал:



$$\frac{t}{x} = \left(\frac{t}{x}\right)_0 + k_1 x; \quad \frac{t}{x} = \left(\frac{t}{x}\right)_0 + k_2 x, \quad (11)$$

где x – глубина проникания агрессивного флюида; k_1 и k_2 – коэффициенты.

Можно предположить, что коэффициент диффузии композита зависит от коэффициентов диффузии матрицы и наполнителя. Тогда, следуя модели Фойхта, можем записать для цементного бетона:

$$D = \gamma D_1 + (1 - \gamma) D_2, \quad (12)$$

где D, D_1, D_2 – соответственно коэффициенты диффузии бетона, цементной матрицы и наполнителя (заполнителя); γ – объемное содержание цементной матрицы [9].

Для бетонов на плотных заполнителях $D_1 \geq D_2$, если заполнитель пористый, то $D_2 \leq 0$.

А. Ф. Полак предложил ширину зоны химической реакции a двух веществ А и В определять по формуле:

$$a = \sqrt{2t_{1/2}(D_A + D_B)}, \quad (13)$$

где $t_{1/2}$ – время, в течение которого концентрация разрушающих веществ снижается в 2 раза; D_A и D_B – коэффициенты диффузии реагирующих веществ.

В случае установившегося диффузионного процесса, когда $\frac{\partial c}{\partial t} = 0$, выравнивание градиента агрессивной среды предлагается описывать уравнением [8]:

$$D \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} = k(c_i - c_o)^{m_i} \quad (14)$$

Из решения уравнения при условии $m_i \neq 0$ координата a определяется по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{D(m_i + 1)}{2k} c_o^{1-m_i} \frac{2}{1 - m_i}}, \quad (15)$$

если $m_i = 1$, то из решения уравнения (14) получаем:

$$a = \sqrt{\frac{D}{2k} \ln \frac{c_t - c_o}{c_{max} - c_o}}, \quad (16)$$

Методы определения глубинного показателя в основном базируются на кинетических законах Фика, Гульдберга-Вааге, Лангмюра. При этом общепринятым критерием для определения толщины переменного (деградированного) слоя бетона под действием агрессивных сред является коэффициент диффузии (D).

В ГОСТ 31383-2008 предлагается эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетон D , см²/с рассчитывать по формуле:

$$D = \frac{m_0 x^2}{2c\tau} = \frac{0,4Ц\rho f x^2}{2c\tau}, \quad (17)$$

где c – концентрация углекислого газа в относительных величинах; τ – продолжительность воздействия углекислого газа на бетон (с); m_0 – реакционная емкость бетона; $m_0 = 0,4Ц\rho f$ – $Ц$ – содержание цемента (г) в 1 см³ бетона; ρ – количество основных ок-

сидов в цементе; f – степень нейтрализации бетона ($f \approx 0,6$).

Коэффициент диффузии хлоридов в бетон предлагается определять по формуле:

$$D = D_{cl} \Pi_{\text{эф}}, \quad (18)$$

где D_{cl} – коэффициент диффузии хлоридов в воде; $\Pi_{\text{эф}}$ – эффективная сквозная пористость бетона.

С. В. Александровский предлагает коэффициент диффузии влаги в бетон определять по формуле:

$$D_{H_2O} = 6(1 - 0,2В/Ц) \left(1 + \frac{Ц - 300}{375}\right) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (19)$$

где $Ц$ – содержание цемента в кг/м³.

Нормами СНиП II-И. 14-69 предлагается принять для бетона коэффициент диффузии воды равным $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{ч}$.

Рассмотрено и проверено экспериментально пять методов определения коэффициентов диффузии, которые наиболее обоснованы. Получены формулы, вывод которых представлен в работе авторов [9].

1. Из анализа модели равновесной сорбции имеем:

$$D_1 = \left\{ -0,085 - 0,4 \ln \left[1 - \frac{\omega(t)}{\omega_{max}} \right] \right\} \frac{h^2}{t} \quad (20)$$

если принять $\omega(t) = 0,5\omega_{max}$, то получим:

$$D_1 = 0,2 \frac{h^2}{t} = 0,2vh$$

где v – скорость переноса жидкости.

2. Применяя динамический сорбционный метод получаем:

$$D_2 = -0,41 \frac{h^2}{t} \ln y \quad (21)$$

где $y = f(\omega_1, \omega_2)$; $\omega_1 \rightarrow t_1$; $\omega_2 \rightarrow t_2 \Rightarrow y = \frac{\omega(t_2)}{2\omega(t_1)} +$

$$\sqrt{\frac{[\omega(t_2)]^2}{[\omega(t_1)]^2} - \frac{\pi^2 \omega(t_2) - \omega(t_1)}{8 \omega(t_1)}}.$$

3. Приняв $t_2 = 2t_1$ и $t_3 = 3t_1$, получим:

$$D_3 = \left[\ln \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_3 - \omega_2} \right] 0,4 \frac{h^2}{t} \quad (22)$$

4. Исходя из закона сорбции И. Лангмюра, уравнения А. Фика и анализа экспериментальных данных предложена дробно-линейная функция вида $\omega(t) = \frac{\omega_{max} t}{t_{0,5} + t}$, на основании которой получаем:

$$D_4 = A(\omega) \frac{h^2}{t_{0,5}}, \quad (23)$$

где $t_{0,5}$ – временная характеристика кинетики сорбции; $A(\omega) = \frac{4}{\pi^2} \left[\ln \frac{8}{\pi^2} - \ln \frac{\omega_{max} - \omega(t)}{\omega_{max}} \right] \left(\frac{\omega_{max}}{\omega(t)} - 1 \right)$.

5. Предложен индикаторный метод, основанный на экспериментальном определении константы D по толщине деградированного слоя:

$$D_5 = \frac{a^2}{(1 - \omega(t)/\omega_{max})^2 t}, \quad (24)$$

Результаты экспериментального определения коэффициента диффузии воды и раствора в полимербетон представлен в таблице 1.



Таблица 1 – Коэффициенты диффузии D , см²/сут для составов 1-7

№ состава	Коэффициенты D , см ² /сут, определенный методом				
	1	2	3	4	5
1	0,120 09		0,093 37	0,117 78	
2	0,091 99		0,141 29	0,107 36	
3	0,138 92		0,275 00	0,155 72	
4	0,182 48		0,328 32	0,173 76	0,139 65
5	0,144 25	0,006 03	0,093 37	0,130 13	0,139 35
6	0,267 94	0,044 32	0,224 97	0,209 46	
7	0,309 17	0,040 99	0,356 56	0,199 41	

Анализ экспериментальных данных показывает, что первый, четвертый и пятый методы определения коэффициента диффузии дают сопоставимые результаты.

Выводы. Установлено: наиболее адекватно описывает процесс переноса агрессивной жидкости в объем материала модель, основанная на законах Фика и Лангмюра: численное значение коэффициента диффузии зависит от длительности процесса взаимодействия агрессивной среды с материалом; наиболее корректно можно определить глубинный показатель из соотношения (24), полагая $\omega(t) = 0,5\omega_{max}$, и тогда $a = (0,25Dt)^{0,5}$.

Библиографический список

1. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажност-

ные воздействия с учетом ползучести. - М. Строиздат, 1973, 432 с.

2. Комохов П. Г. Латыпов В. М., Латыпова Т. В., Ваганов Р. Ф. Долговечность бетона и железобетона. – Уфа : Белая река, 1988. – 216 с.

3. Москвин В. М., Иванов Р. М., Алексеев С. Н., Гусев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М. 1908. – 536 с.

4. Соломатов, В. И. Прогнозирование стойкости композитов в агрессивных средах. / В. И. Соломатов, А. Н. Бобрышев, А. П. Прошин. // Известия вузов. 1998.- №10. – с. 43 – 46.

5. Полак, А. Ф. Расчет долговечности железобетонных конструкций. / А. Ф. Полак. – Уфа ; УНИ, 1983. – 117 с.

6. Франк-Каменецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М., Наука, 1967. – М. : Интеллект, 2008. – 494 с.

7. Селяев, В. П. Химическое сопротивление цементных композитов при совместном действии нагрузок и агрессивных сред. / В. П. Селяев, Л. М. Ошкина – Саранск : Изд-во Мордовский государственный университет, 1997. – 100 с.

8. Селяев, В. П. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов : монография / В. П. Селяев, П. В. Селяев. – Саранск изд-во Мордов. ун-та. 2018. – 220 с.

9. Селяев, В. П., Кинетические модели взаимодействия цементных и полимерных бетонов с химически активными агрессивными средами. – учеб.-метод. пособие / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина, Е. С. Безруков. – Саранск. Изд-во Мордов. ун-та. 2020. – 112 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Научная статья

УДК 69.07

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_2_57

СОПРОТИВЛЕНИЕ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С КОМПОЗИТНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ

© Автор, 2025

SPIN: 8304-2143

ТАМОВ Мурат Мухамедович

кандидат технических наук, доцент

Кубанский государственный технологический университет

(Россия, Краснодар, e-mail: murat.tamov@gmail.com)

Аннотация. В статье рассмотрены особенности работы железобетонных балок с поперечной композитной арматурой (АКП) при восприятии поперечных сил. Проведены экспериментальные исследования на балках прямоугольного сечения с базальтопластиковыми и стальными хомутами, позволяющие оценить влияние вида и угла наклона хомутов на прочность и трещиностойкость наклонных сечений. Большинство балок со стальными и композитными хомутами разрушились вследствие раздробления бетона над наклонной трещиной, в двух случаях – из-за разрыва хомутов в месте пересечения с наклонной трещиной. При этом балки с АКП обладают меньшей прочностью, жесткостью и трещиностойкостью по сравнению с аналогичными балками со стальными хомутами. Причиной этому служит пониженная осевая жесткость композитных стержней. Методики расчета СП 63.13330 оказались близки к результатам испытаний балок со стальными хомутами, тогда как формулы СП 295.1325800 переоценивают прочность балок с АКП. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости корректировки нормативных методик расчета сопротивления наклонных сечений балок с композитными хомутами. Отдельного внимания заслуживает вопрос расчета по прочности композитных хомутов, пересекающих наклонные трещины. Раскрытие наклонных трещин со сдвигом берегов приводит к локальному изгибу хомутов, что приводит к снижению их величины сопротивления АКП в сравнении с ее прочностью при осевом растяжении.

Ключевые слова: композитная арматура; железобетонные балки; поперечные силы; прочность; трещиностойкость; испытания балок; наклонные сечения; строительные конструкции

Для цитирования: Тамов М.М. Сопротивление наклонных сечений железобетонных балок с композитной поперечной арматурой // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 57-61. doi:10.51608/26867818_2025_2_57.

Original article

RESISTANCE OF OBLIQUE SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH COMPOSITE CROSS-SECTION REINFORCEMENT

© The Author(s) 2025

TAMOV Murat Mukhamedovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kuban State Technological University

(Russia, Krasnodar)

Abstract. The article presents the study of the behavior of reinforced concrete beams with shear fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement. Experimental studies were conducted on beams with rectangular cross-section reinforced with basalt FRP and steel stirrups to assess the influence of type and inclination angle of stirrups on the shear strength and cracking of beams. Most beams with both steel and composite stirrups failed due to concrete crushing above the shear crack, while in two cases, failure occurred due to stirrup rupture at the intersection with the shear crack. Beams reinforced with FRP showed lower strength, stiffness, and crack resistance compared to similar beams with steel stirrups. This is attributed to the reduced axial stiffness of FRP bars. The calculation methods of SP 63.13330 closely matched the test results for beams with steel stirrups, whereas SP 295.1325800 overestimated the shear strength of beams with ACR. The findings highlight the need to revise methods for calculating the shear resistance of beams with composite stirrups. Special attention should be given to the strength assessment of



composite stirrups crossing inclined cracks, as crack opening with edge displacement leads to local bending of stirrups, reducing their resistance compared to their axial tensile strength.

Keywords: fiber reinforced polymer; reinforced concrete beams; shear force; resistibility; beam tests; oblique section; building structures

For citation: Tamov M.M Resistance of oblique sections of reinforced concrete beams with composite cross-section reinforcement // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 57-61. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_57.

Введение. Композитная арматура (далее – АКП) разных видов находит все большее применение в области строительства. Использование арматуры в отдельных видах конструкций и сооружениях обусловлено ее специфическими свойствами: коррозионной стойкостью к агрессивным средам, низкой диэлектрической проницаемостью, низкой теплопроводностью [1].

Основой методик расчета конструкций из бетона с АКП должны служить соответствующие экспериментальные и теоретические исследования [2]. В сравнении с конструкциями со стальной арматурой объем таких исследований для конструкций с АКП остается сравнительно небольшим [3]. Одним из малоизученных вопросов в этой области является восприятие поперечных сил балками с поперечной композитной арматурой.

Характер восприятия поперечных сил прямоугольными балками с поперечной композитной арматурой рассмотрен в работах С.И. Меркулова [4], Абеда [5], Бивальски [6], Лианга [7], Мурада [8], Ксусе [9] и др. Особенности работы наклонных сечений, армированных композитными стержнями, обусловлены следующими факторами: пониженное сопротивление криволинейных участков композитных хомутов, относительно низкий модуль упругости композитной арматуры, отсутствие у нее физического предела текучести при высоком временном сопротивлении растяжению, слабый «нагельный» эффект [10-13].

Вследствие анизотропности свойств композитной арматуры т.н. «нагельный» эффект – способность стержней препятствовать сдвигу берегов трещины – для композитной арматуры ниже, чем для стальной [14]. В пересекающих наклонные трещины хомутах в результате сдвига берегов вместе с продольными усилиями возникают также и локальные изгибные усилия [15]. Ввиду ориентации волокон вдоль оси композитной арматуры следует полагать, что влияние эффекта перегиба на сопротивление композитной арматуры должно быть выше, чем у изотропной стальной арматуры [16].

Из вышесказанного следует, что работа приопорных участков балок с поперечной композитной арматурой может отличаться от балок со стальными хомутами. Для исследования особенностей сопротивления наклонных сечений железобетонных балок с композитной поперечной арматурой проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в настоящей статье.

Методология. Задачи исследования включали построение программы экспериментальных исследований работы на поперечную силу железобетонных балок прямоугольного сечения с композитными хомутами, проектирование и изготовление образцов, проведение испытаний, обработку и анализ их результатов.

Для решения поставленных задач было изготовлено 4 балки прямоугольного сечения (таблица 1). Полная длина балок составляла 2340 мм, ширина и высота их сечений составляли соответственно 100 мм и 200 мм (рисунок 1,а). Для испытания всех балок был принят единый пролет среза $a/h_0 = 2,5$. Поперечное армирование в исследуемых приопорных зонах балок №1 и №2 состояло из базальтопластиковых хомутов диаметром 4 мм (рисунок 1, б), а в балках 3 и 4 – из стальных хомутов из проволоки Вр-1 диаметром 5 мм. Дополнительными варьируемыми параметрами выступали угол наклона хомутов γ и коэффициент поперечного армирования μ_{sw} .

Гнутье базальтопластиковых стержней возможно только в процессе их производства. Хомуты были предоставлены производителем АКП и были изготовлены по нашим чертежам из одной партии арматуры.

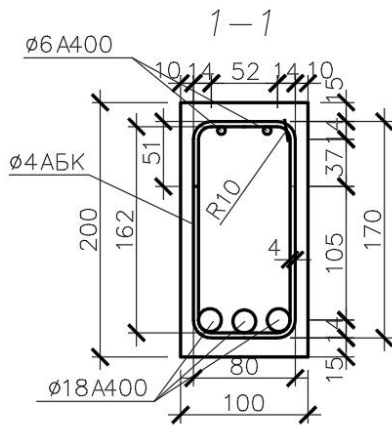
Таблица 1 – План эксперимента

№ балки	Шифр пролета среза	Материал хомутов	a/h_0	γ , град.	Шаг хомутов	μ_{sw} , %
1	O1-B-K-80	Ø4 АБК	2,5	90	80	0,31
	O2-B-K-100	Ø4 АБК	2,5	90	100	0,25
2	O3-N-K-60	Ø4 АБК	2,5	45	60	0,42
	O4-N-K-75	Ø4 АБК	2,5	45	75	0,34
3	O5-B-B-80	Ø5 Вр-1	2,5	90	80	0,47
	O6-B-B-100	Ø5 Вр-1	2,5	90	100	0,38
4	O7-N-B-60	Ø5 Вр-1	2,5	45	60	0,63
	O8-N-B-75	Ø5 Вр-1	2,5	45	75	0,50

В ходе испытаний контролировали величину прикладываемой нагрузки и прогиба балок. Для регистрации деформаций проволоки и базальтопластиковой арматуры на хомуты по ожидаемой траектории образования критической наклонной трещины были наклеены тензорезисторы (рисунок 3). Раскрытия и сдвиг берегов трещины измеряли датчиками LVDT



а)



б)



в)

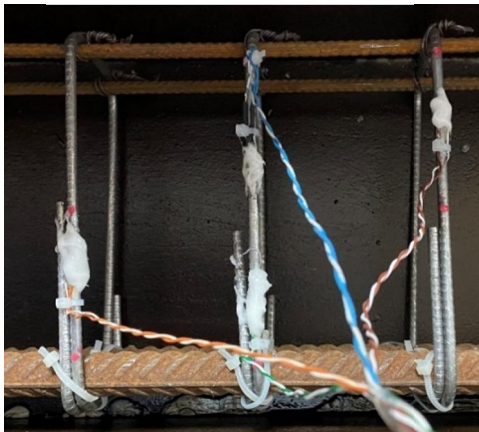


Рис. 1. Армирование опытных образцов:

- а) поперечное сечение балок;
- б) хомут из АБК; в) тензорезисторы на хомутах

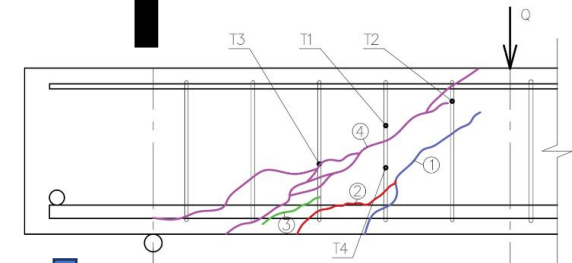
Балки устанавливали сжатой гранью вниз, что обеспечило более удобное наблюдение за образованием и раскрытием трещин. Принятая схема испытания позволяла испытывать каждый пролет среза независимо от противоположного. Сначала трехточечным изгибом до разрушения доводился один пролет среза. После этого балка сдвигалась в плоскости рамы таким образом, что разрушенный пролет среза оказывался вне зоны действия усилий.



Рис. 2. Испытание балок

Результаты. Две балки – О1-В-К-80 и О5-В-В-80 – разрушились вследствие разрыва хомутов, в остальных разрушение наступало по сжато-растянутому бетону над вершиной наклонной трещины. Балки с композитной и стальной арматурой демонстрируют схожий характер развития прогибов под нагрузкой. При этом балки с наклонным поперечным армированием и со стальными хомутами в целом демонстрировали более высокую изгибную жесткость.

а)



б)

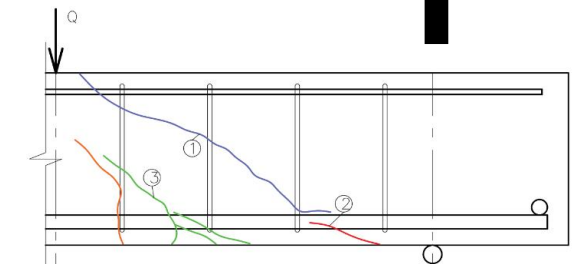
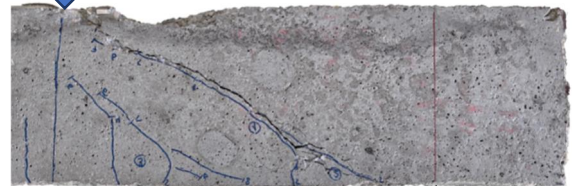


Рис. 3. Картина трещин в балках О1-В-К-80 (а) и О6-В-В-100 (б)



Опытные значения разрушающей нагрузки Q_{test} наряду с другими характеристиками для последующего анализа представлены в таблице 2. Для отнесения формы разрушения образцов к тому или иному типу вместе с наблюдавшимся характером разрушения анализировались показания датчиков и графики раскрытия наклонных трещин.

Таблица 2 – Данные по разрушению образцов

Шифр пролета среза	R, МПа	$Q_{расч}$, кН	$Q_{опыт}$, кН	$Q_{опыт} / Q_{расч}$	Форма разрушения
О1-В-К-80	43,38	166,33	93,26	0,56	Разрыв хомутов
О2-В-К-100	43,38	138,53	83,6	0,60	Раздробление бетона над вершиной наклонной трещины
О3-Н-К-60	43,332	166,33	82,8	0,50	
О4-Н-К-75	43,332	138,53	83,79	0,60	
О5-В-В-80	45,485	108,51	105,975	0,98	Разрыв хомутов
О6-В-В-100	45,485	92,68	81,675	0,88	Раздробление бетона над вершиной наклонной трещины
О7-Н-В-60	43,098	110,71	109,137	0,99	
О8-Н-В-75	43,098	94,88	102,91	1,08	

На рисунке 4 совмещены графики роста прогибов для всех образцов. Балки с композитной и стальной арматурой демонстрируют схожий характер развития прогибов под нагрузкой. При этом балки с наклонным поперечным армированием и со стальными хомутами в целом демонстрировали большую жесткость.

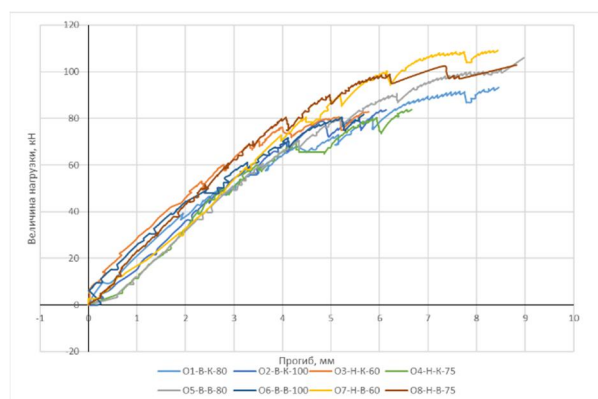


Рис. 4. Измеренные прогибы балок

Обсуждение. Раскрытие наклонных трещин в балках с базальтопластиковыми хомутами перед разрушением не превышало 1 мм при 0,3–0,4 мм у аналогичных образцов со стальными хомутами. То есть разница в раскрытии трещин не превышала 100% при примерно трехкратной разнице модулей

упругости стальной и базальтопластиковой арматуры. Полученная опытная величина раскрытия трещин 1 мм может считаться для АБК приемлемой с учетом её стойкости к коррозии.

Замена стальных хомутов диаметром 5 мм композитными диаметром 4 мм при сохранении их шага привело к снижению несущей способности балок с в среднем на 16 %. Для балок с наклонными хомутами эта разница была еще большей и составила около 27%. Учитывая то, что в большинстве случаев при разрушении балок хомуты не рвались, снижение несущей способности может объясняться только пониженной продольной и поперечной жесткостью композитных стержней.

Увеличение шага хомутов на 25% при их вертикальной постановке привело к снижению несущей способности балок как при стальном (на 10%), так и при композитном (на 23%) поперечном армировании. Аналогичное разрежение хомутов при их наклонном расположении заметного снижения несущей способности балок не вызвало.

Результаты расчета по формулам норм для железобетонных балок оказались достаточно близкими к опытным разрушающим нагрузкам. Среднее отношение опытной несущей способности к расчетной $Q_{опыт} / Q_{расч}$ составило 0,98 при коэффициенте вариации 8,3 %. В свою очередь, формулы норм существенно переоценивают несущую способность испытанных балок с композитным поперечным армированием. Среднее отношение $Q_{опыт} / Q_{расч}$ для них составило 0,57.

Вертикальные хомуты оказались эффективнее наклонных: в испытанных балках шаг наклонных хомутов в среднем был меньше шага вертикальных, однако несущая способность и в том и в другом случае была примерно одинаковой. Так, например, разрушающая нагрузка для балки О2-В-К-100 оказалась почти такой же, что и у балки О4-Н-К-75. Также следует отметить, что оценка влияния наклона хомутов по методике отечественных норм оказалась близкой к результатам наших опытов.

Результаты расчета прочности железобетонных балок по формулам СП 63.13330 оказались достаточно близкими к опытным разрушающим нагрузкам (таблица 2). Среднее отношение опытной несущей способности к расчетной $Q_{опыт} / Q_{расч}$ составило 0,98 при коэффициенте вариации 8,3 %. В свою очередь, методика расчета СП 295.1325800 существенно переоценивают несущую способность испытанных балок с композитным поперечным армированием – среднее отношение $Q_{опыт} / Q_{расч}$ для них составило 0,57.

Выводы. Проведенные исследования показали, что железобетонные балки с поперечной композитной арматурой обладают меньшей несущей способностью, чем балки со стальными хомутами,



что объясняется, главным образом, меньшей осевой жесткостью АКП. Результаты расчета по формулам СП 63.13330 сопротивления наклонных сечений, армированных стальными стержнями, достаточно близки к результатам экспериментов, тогда как формулы СП 295.1325800 переоценивают сопротивление балок с композитными хомутами. Это дает основание полагать, что указанные формулы СП 295.1325800 следует пересмотреть, в т.ч. с учетом результатов представленных исследований и опытов других авторов. Отдельного внимания заслуживает вопрос расчета по прочности композитных хомутов, пересекающих наклонные трещины. Раскрытие наклонных трещин со сдвигом берегов приводит к локальному изгибу хомутов, что приводит к снижению их величины сопротивления АКП в сравнении с ее прочностью при осевом растяжении.

Библиографический список

1. Зарипова, З. К. Применения композитной арматуры на основе базальтового волокна в современном строительстве / З. К. Зарипова // Вестник науки. – 2025. – Т. 3, № 2(83). – С. 551-556.
2. Усанов, С. В. Сравнительный анализ формул российских и зарубежных норм для расчета прочности стенок двутавровых балок со стальным и композитным поперечным армированием / С. В. Усанов, М. М. Тамов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 2(98). – С. 382-388.
3. Marí, A. Shear design of FRP reinforced concrete beams without transverse reinforcement / A. Marí, A. Cladera, E. Oller, J. Bairán // Composites: Part B 57, 2014. – pp. 228–241.
4. Меркулов, С. И. Прочность наклонных сечений балок с композитной стержневой арматурой / С. И. Меркулов, Э. К. Акимов // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года / Под редакцией С.И. Меркулова. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2020. – С. 180-185.
5. Abed, F. Experimental and finite element investigation of the shear performance of BFRP-RC short beams / Farid Abed, Ahmed El Refai, Suliman Abdalla // Journal of The Institution of Structural Engineers. - 2019 - P. 689–701.
6. Bywalski, C. Shear Behavior of Concrete Beams Reinforced with A New Type of Glass Fiber Reinforced Polymer Reinforcement: Experimental Study / Czesław Bywalski, Michał Drzazga, Maciej Kaźmierowski, Mieczysław Kamiński // Wrocław University of Science and Technology. – 2020. – 17 pp.
7. Xiangzhou Liang, Juanzhao Peng, Ruobing Ren A state-of-the-art review: Shear performance of the concrete beams reinforced with FRP bars // Construction and Building Materials. - 2023. - №364.
8. Murad, Y., Saleh, E., Tarawneh, A., Almasabha, G., Alghossoon, A. Strength Prediction of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars and Stirrups Using Gene Expression Programming // Sustainability. - 2023. - №15(8).
9. Xin Xue, Lijun Lin, Jing Gao, Lanying Chen Enhancing shear strength predictions for FRP-Reinforced concrete beams: Focusing on reasonable assessment of average ultimate strain in stirrups // Structures. - 2025. - №71.
10. Ahmed, E.A. Shear Behavior of Concrete Beams Reinforced with a Fiber Reinforced Polymer (FRP) Stirrups / The University of Sherbrooke. – Canada, June 2009. – 291 pp.
11. Nanni, A. Design and construction of concrete reinforced with FRP bars : an emerging technology / Antonio Nanni and Salem Faza. – pp. 1–18.
12. Shehata, E. Fibre reinforced polymer shear reinforcement for concrete members: behaviour and design guidelines / Emile Shehata, Ryan Morphy, Sami Rizkalla / Can. J. Civ. Eng. Vol. 27, 2000. – pp. 859–872.
13. Shehata, E. Fibre-Reinforced Polymer for Shear Reinforcement in Concrete Structures: Ph.D. Dissertation / Emile Shehata. - Winnipeg, Manitoba, 1999. – 414 pp.
14. Усанов, С. В. Трещиностойкость приопорных зон двутавровых балок с поперечным армированием из базальтокомпозитной арматуры / С. В. Усанов, М. М. Тамов // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4(88). – С. 344-361.
15. Krall, M. Concrete beams with different arrangements of GFRP flexural and shear reinforcement / M. Krall, M.A. Polak // Engineering Structures. – 2019. – 12 pp.
16. Kurth, M.C. Zum Querkrafttragverhalten von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung / Martin Christof Kurth // Von der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen, 2012. – 297 pp.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Научная статья

УДК 624.072

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

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_62

СРАВНЕНИЕ ОСАДОК ДВУСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ ПОД ПОДОШВОЙ ЖЕСТКОГО ФУНДАМЕНТА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ГРУНТОВ И УЧЕТОМ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ МЕЖДУ НИМИ

© Авторы 2025
SPIN: 4836-8701

КОЗУНОВА Оксана Васильевна

кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации зданий и сооружений

*Белорусский национальный технический университет
(Беларусь, Минск, e-mail: kozunova@gmail.com)*

ПУСЕНКОВ Анатолий Григорьевич

главный инженер завода КПД ОАО «Гомельский ДСК», аспирант

*Белорусский государственный университет транспорта
(Беларусь, Гомель, e-mail: pusenkov_a@mail.ru)*

Аннотация. В статье представлено сравнение расчетов осадок в линейной и нелинейной постановке при изменяемых расчетных характеристиках двухслойного основания с наклонным слоем без учета касательных напряжений (продольных деформаций), а так же с их учетом. Проводится числовая апробация вариационно-разностным методом (ВРМ) и верифицируются результаты в том числе и с линейным расчетом.

Ключевые слова: упругое двухслойное основание; балочная плита; осадки основания; касательные напряжения; зона контакта; характеристики основания; строительные конструкции; строительные материалы

Для цитирования: Козунова О.В., Пусенков А.Г. Сравнение осадок двухслойного основания под подошвой жесткого фундамента с изменяемыми параметрами грунтов и учетом касательных напряжений между ними // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 62-66. doi:10.51608/26867818_2025_2_62.

Original article

COMPARISON OF SETTLEMENT OF A TWO-LAYER FOUNDATION UNDER THE BASE OF A RIGID FOUNDATION WITH VARIABLE SOIL PARAMETERS AND CONSIDERING THE TANGENTIAL STRESSES BETWEEN THEM

© The Author(s) 2025

KOZUNOVA Oksana Vasilyevna

Candidate of Technical Sciences, head Department of Construction and Operation Buildings and Structures

*Belarusian National Technical University
(Belarus, Minsk)*

PUSENKOV Anatoly Grigorievich

chief engineer KPD plant OJSC "Gomel DSK", PhD Candidate

*Belarusian State University of Transport
(Belarus, Gomel)*

Abstract. In this article, settlement calculations for a two-layer base with an inclined layer are compared in linear and nonlinear formulations with varying design characteristics, both without and with consideration for tangential stresses (longitudinal deformations). Numerical testing is carried out using the variational-difference method (VDM), and the results are verified through linear calculation as well.

Keywords: elastic two-layer base; beam slab; base settlements; shear stresses; contact zone; base characteristics; building structures; building materials

For citation: Kozunova O.V., Pusenkov A.G. Comparison of settlement of a two-layer foundation under the base of a rigid foundation with variable soil parameters and considering the tangential stresses between them // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 62-66. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_62.

Введение. Инженерные изыскания должны обеспечивать комплексное изучение природных и техногенных условий территорий предполагаемого, намеченного или проектируемого строительства [1].

Современные реалии архитектуры требуют строительства все более сложных, высотных и не типовых зданий и сооружений. Изучение инженерно-геологических условий площадки, с учетом их изменений при строительстве и эксплуатации проектируемого здания, установление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов и др. является основной задачей инженерно-геологического изыскания [1]. Поэтому перед специалистами стоят задачи разработки методов решений с высокой требуемой точностью совместной деформации фундаментов и сложных оснований, но из-за их разнообразия в настоящее время нет возможности дать строгое решение пространственной задачи.

Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям [2] оптимальным методом решения является нелинейный расчет взаимодействия фундамента (балочной плиты) и основания, которые позволяют выполнить более достоверную оценку работы. Методика расчетного исследования базируется на положениях разработанного вариационно-разностного подхода решения контактной задачи для нелинейно-упругого неоднородного основания [3], и на статических расчетах балочной плиты на однородном упругом основании с учетом касательных напряжений [4].

Автором предлагается сравнение напряженно-деформируемого состояния балочной плиты, осадок и реактивных давлений изменяемого (двуслойного) основания с учетом продольных деформаций в зоне контакта.

Постановка задачи. Алгоритм решения задачи. На рис. 1 показан инженерно-геологический разрез проектируемого места строительства. В строительстве геологический разрез является основным проектным документом, на котором указаны все основные элементы плана и профиля, типы и расположение искусственных сооружений.

На рис. 2 представлены варианты двуслойного основания со слабым слоем сверху (а) и во втором случае снизу (б). Наклон слоев составляет 45° .

На наклонном двуслойном основании общей глубиной (толщиной) H расположена Балочная плита ленточных фундаментов с приложенной внешней нагрузкой $q(x)$. Параметры плиты следующие: высота плиты h , ширина плиты $2l$, изгибная жесткость EJ .

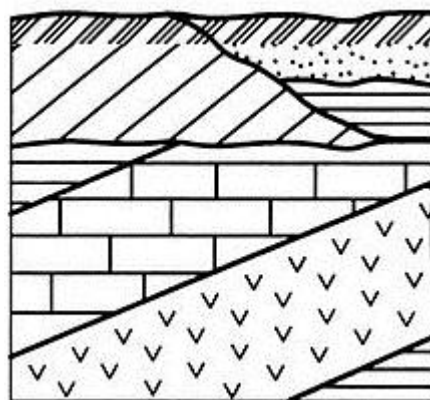


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез

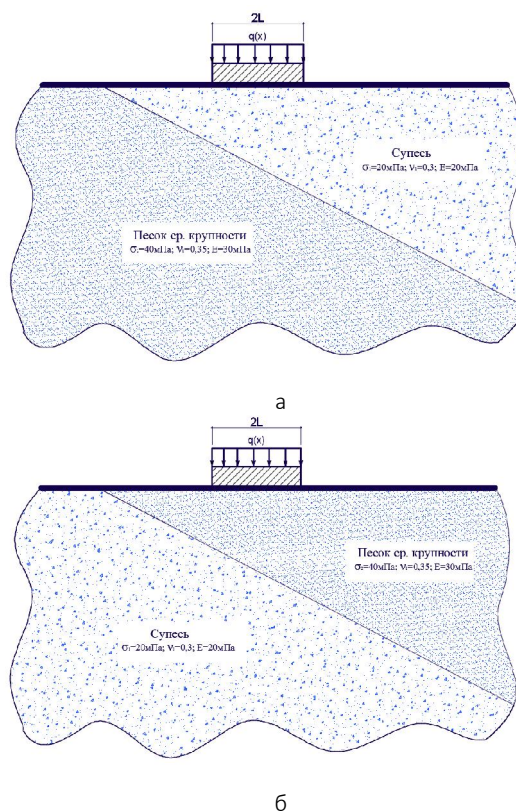


Рис. 2. Двуслойное наклонное основание

Вводим гипотезы (предположения) и допущения для расчета балочных плит на упругом основании: гипотезы теории упругости справедливы для рассматриваемой области упругого основания; допущения и гипотезы плоского изгиба балки справедливы для плиты.

Для решения рассматриваемой задачи применяется вариационно-разностный метод (ВРМ) [5], который реализуется в перемещениях через конечно-разностные соотношения теории упругости (случай плоской деформации) при использовании в



решении функционала полной потенциальной энергии деформации системы, состоящей из плиты, упругого основания и зоны контактного взаимодействия.

Основание при расчете заменяется прямоугольной расчетной областью рис 3, на границах которой перемещения равны нулю; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

Основание аппроксимируется разбивочной сеткой конечных размеров с постоянным шагом по осям (рис. 3).

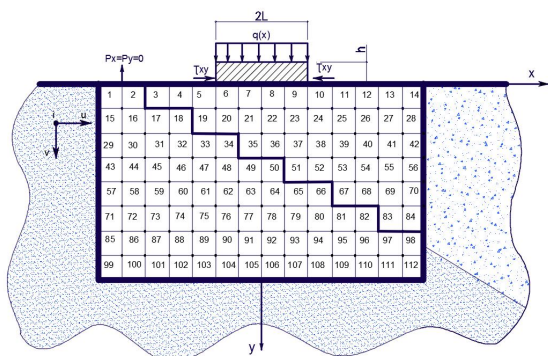


Рис. 3. Разбивочная сетка расчетной области

За неизвестные принимаем: $u_i(x,y), v_i(x,y)$ – компоненты вектора перемещения i -той узловой точки основания (на рис. 3 принято 112 точек), направленные вдоль осей X и Y соответственно; $p_y^{(i)}(x,y)$ - реактивные давления в зоне контакта балочной плиты с основанием, $\tau_{xy}^{(i)}(x,y)$ - касательные напряжения, q_x - распределенная нагрузка.

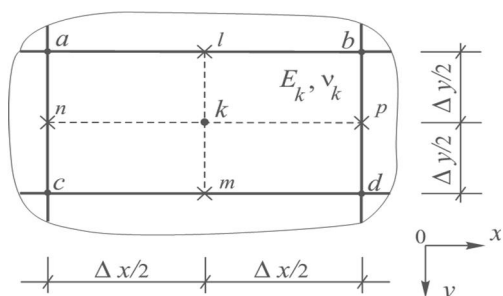


Рис. 4. Прямоугольная ячейка метода конечных разностей

Зависимость интенсивности напряжений и деформаций для двуслойного основания определяется по следующей формуле:

$$\sigma_i = \sigma_y \operatorname{th} \left(\frac{E}{\sigma_y} \varepsilon_i^{(k)} \right), \quad (1)$$

где σ_y - предел текучести основания; E - начальный модуль деформации основания; $\varepsilon_i^{(k)}$ – интенсивность деформаций в точке k упругого основания.

Вначале решается задача в линейной постановке. По вычисленным значениям перемещений i -той узловой точки $u_i(x), v_i(y)$, используя геометрические уравнения Коши и конечно-разностные соотношения, определяется *интенсивность деформаций* и *интенсивность напряжений* в центрах ячеек (см. формулы теории упругости).

Имея значения напряжений и перемещений, полученных в результате решения задачи в первом приближении, определяется *касательный модуль деформации* для каждой ячейки и задача решается во втором и последующих приближениях, с учетом изгибной жесткости балочной плиты.

$$E_i^{(n)} = \frac{E_{0k}}{\operatorname{ch}^2 \left(\frac{E_{0k}}{\sigma_{yk}} \varepsilon_i^{(n-1)} \right)} \quad (2)$$

Нелинейный расчет заканчивается, как только разница между последующим и предыдущим приближением исследуемой функции будет соответствовать установленной точности решения задачи.

$$\delta_f = \frac{f_{\max}^{(n)} - f_{\max}^{(n-1)}}{f_{\max}^{(n)}} \cdot 100\% \leq \xi, \quad (3)$$

где $f_{\max}^{(n)}, f_{\max}^{(n-1)}$ – максимальные значения итераций; n – номер итераций.

Подробная методика расчета опубликована совместно [4], соавтором является к.т.н., доцент Козунова О.В.

Решение задачи. Для решения задач составлена расчетная программа в Mathematica 10.0 и проведена ее числовая апробация для двуслойного основания с учетом изменяемости слоев и параметров [6].

1-й слой - супесь: $\sigma_{y1} = 0,2 \text{ МПа}$; $\nu = 0,3$; $E = 20 \text{ МПа}$

2-ой слой - песок ср. крупности: $\sigma_{y2} = 0,4 \text{ МПа}$; $\nu = 0,35$; $E = 40 \text{ МПа}$

Балочной плитой выступает железобетонная плита ленточного фундамента (ФЛ) с классом бетона С20/25 и типовым армированием. Задаем следующие характеристики плиты: длина - $l = 1,6 \text{ м}$, высота - $h = 0,3 \text{ м}$; модуль упругости бетона - $E_b = 2,75 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

На балочную плиту действует равномерно распределенная нагрузка $q(x)$, которая заменяется сосредоточенными силами $P_1=P_3 = 100 \text{ кН}$, $P_2=200 \text{ кН}$.

Для итерационного процесса сходимости [7] устанавливаем критерий равный - 3%.

В компьютерной программе Mathematica 10.0 составляем алгоритм расчета и определяем горизонтальные и вертикальные перемещения узловых точек в линейных, а затем и в нелинейных постановках



расчета. Результаты получаем как с учетом касательных напряжений так и без них. Далее проводится верификация.

Результаты расчета осадок. На рисунках 5а, 5б представлены результаты осадок. Как видно на графиках за счет двуслойного основания осадки балочной плиты направлены в противоположные стороны.

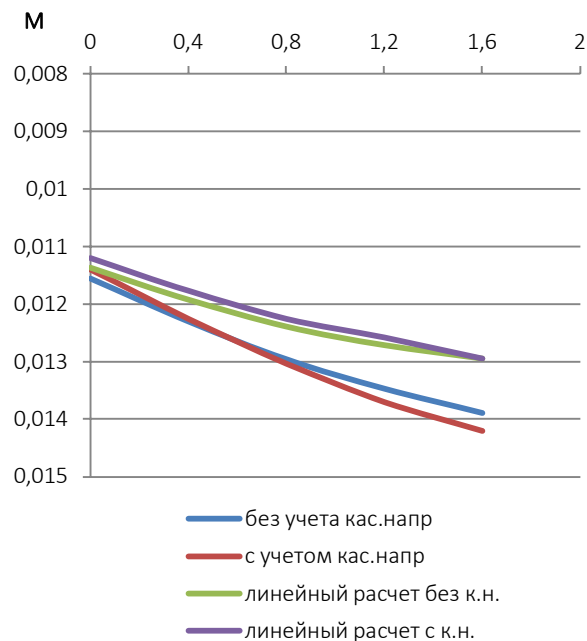


Рисунок 5а. - График сравнения результатов осадок двуслойного основания и плиты с учетом касательных напряжений и без них в контактной зоне для первых трех итераций, а также линейного расчета

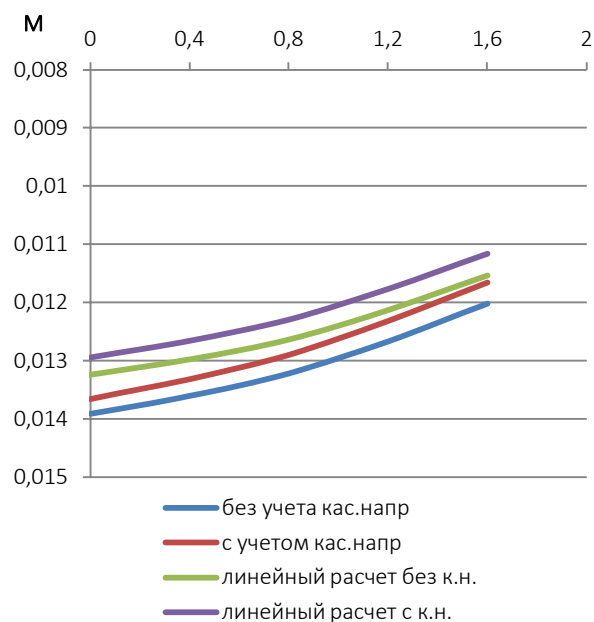


Рис. 5б. График сравнения результатов осадок основания и плиты с учетом касательных напряжений и без них в контактной зоне для первых трех итераций, а также линейного расчета

На графике 5а сходимось подтверждена в третьей итерации и составила 0,8%. Наблюдается просадка правой стороны плиты за счет увеличения расчетной области слабого верхнего слоя (супесь). Так же стоит обратить внимание на увеличение осадок с правой стороны за счет более точного расчета с учетом продольных деформаций на 2,1%, что в свою очередь позволит проектировать надежные фундаменты рациональных конструкций. Так же данный график осадок показывает некоторое снижение запаса прочности слабого верхнего грунта при наклонном основании и, в какой-то степени, противоречит работам [8-9].

На графике 5б происходит как бы продавливания не глубокой части верхнего прочного слоя (песок средней крупности) в более слабые грунты. В данном случае учет продольных деформаций в расчете снижает осадки на 2,4%, что позволяет сэкономить средства на его устройства.

Заключение. По результатам теоретических исследований сделаны следующие выводы:

1. В представленной статье усложнена постановка задачи и методика расчета системы балочной плиты с двуслойным основанием ВРМ с использованием конечно-разностных уравнений полной потенциальной энергии с учетом продольных деформаций в зоне контакта и дополняет работы [8-9].

2. Проведена верификация расчетов осадок основания при линейной и нелинейной постановке решения задачи.

3. Впервые получена возможность проектировать фундаменты с учетом более высокой степени объективности [10].

Библиографический список

1. СН 1.02.01-2019 Инженерные изыскания для строительства.
2. Козунова, О.В. Особенности проектирования плитных фундаментов на многослойных основаниях со слабыми слоями грунтов / О. В. Козунова // Рекомендации по проектированию и устройству рациональных фундаментов на основаниях, сложенных озерно-ледниковыми и лессовидными грунтами : Р 5.01.056.09 : введ. 01.10.09. - Минск: Стройтехнорм, 2009. - Гл. 8. - С. 39-47.
3. Босаков, С.В. Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно-упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета / С.В. Босаков, О.В. Козунова // Архитектура и строительство. - Минск: БНТУ, 2009. - с. 5-13.
4. Козунова, О. В. Статические расчеты балочной плиты на однородном упругом основании с учетом касательных напряжений / О. В. Козунова, А. Г. Пусенков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. - 2024. - № 1. - С. 39-44. - DOI 10.52928/2070-1683-2024-36-1-39-44. - EDN SMIRQO.
5. Статический анализ системы "балочная плита — нелинейно-упругое неоднородное основание" вариационно-разностным методом: диссертация на соискание



Механика деформируемого твердого тела

ученой степени кандидата технических наук: специальность 05.23.17 Строительная механика / Козунова О.В. - Минск, БНТУ – 2017 г. – 168 с.

6. Яголковский, С.Н. Влияние учета сцепления упругого слоя с подстилающим основанием на результаты расчета балок // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1969. - №4. – С. 3-5.

7. Винокуров, Е.Ф. Итерационный метод расчета оснований и фундаментов / Е.Ф. Винокуров // Строительство и архитектура Белоруссии. – 1970. – № 1. – с. 31–34.

8. Гудушаури, И.И. Расчет фундаментных полос на действие симметричных и обратнoсимметричных нагрузок с учетом касательных напряжений на поверхности контакта // Известия АН СССР. Механика и машиностроение, 1960, №6.

9. Флорин В.А. Основы механики грунтов. т. 1. Госстройиздат.

10. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа. Разработано к СНиП II-15-74. - М.: Стройиздат., 1984. – 265 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 23.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 23.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

Обзорная статья
УДК 001+62
ГРНТИ: 12.00.00. Науковедение
doi:10.51608/26867818_2025_2_67

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА В ЭПОХУ ПРОСВЕЩЕНИЯ

© Авторы, 2025
SPIN: 7928-0242

РАХИМОВ Равиль Зуфарович
член- корреспондент РААСН, д.т.н., профессор
*РААСН; Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань)*

SPIN: 9379-7895

РАХИМОВА Наиля Равилевна
д.т.н., профессор
*Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань, e-mail: rahimova.07@list.ru)*

Аннотация. В эпоху Просвещения XVII – XVIII века в истории человечества произошел отказ от религиозного мировоззрения и обращение к разуму как единственному критерию познания природы и общества. В это время и в представлениях материаловедения акцент перемещается с догматического вероучения на исследования и эксперименты. В XVII – XVIII веках достигнуты определенные успехи в: разработках, производства и применения строительных материалов и материаловедения в областях: керамики, стекла, металлов, воздушных и гидравлических вяжущих; исследования структуры материалов с созданием применением оптических микроскопов и начала революционного этапа в истории развития материаловедения. В этот период формирование основ материаловедения с наблюдения берет на вооружение эксперимент и логическую обработку его результатов. При этом формирование научных основ материаловедения происходило с учетом развития в этот период фундаментальных наук – математики и физики.

Ключевые слова: история науки; науковедение; эпоха Просвещения; история материаловедения; история математики; история физики

Для цитирования: Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Материаловедение, математика и физика в эпоху просвещения // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 67-74. doi:10.51608/26867818_2025_2_67.

Review article

MATERIALS SCIENCE, MATHEMATICS AND PHYSICS IN THE AGE OF THE ENLIGHTENMENT

© The Author(s) 2025

RAKHIMOV Ravil Zufarovich
Corresponding Member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor
*Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Kazan State University
of Architecture and Civil Engineerin
(Russia, Kazan)*

RAKHIMOVA Naila Ravilevna
Doctor of Technical Sciences, Professor
*Kazan State University of Architecture and Civil Engineering
(Russia, Kazan)*

Abstract. In the Age of the Enlightenment, in the XVII-XVIII centuries, there was a rejection of religious worldview and an appeal to reason as the sole criterion for knowledge of nature and society. At this time and in the representations of materials science, the emphasis shifts from dogmatic beliefs to research and experiments. In the XVII-XVIII centuries, some successes were achieved in the development, production, and application of building materials and materials science in the fields: ceramics, glass, metals, air, and hydraulic grinding; research of the structure of materials with the creation of optical microscopes; and the beginning of a revolutionary phase in the history of materials science.



Throughout this period of establishing the foundations of materials science, the experiment and the logical analysis of its outcomes are derived from observation. Simultaneously, the scientific foundations of materials science were established during this period in the light of the advancements in the fundamental sciences – mathematics and physics.

Keywords: history of science; science study; the Age of the Enlightenment; history of materials science; history of mathematics; history of physics

For citation: Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. Materials science, mathematics and physics in the age of the enlightenment // Expert: theory and practice. 2025. № 2 (29). Pp. 67-74. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_67.

*«Прежде чем обратить взор в будущее,
надо как следует изучить прошлое»
Конфуций – мыслитель и философ
Древнего Китая 1-го века до н.э.*

Развитие математики в эпоху Просвещения.

В 17-м веке быстрое развитие математики продолжилось и к концу века коренным образом меняется. Математические достижения в 17-м веке начинаются с формирования И. Кепплером универсального закона эллиптического движения и открытием Дж. Непера в 1614-м году логарифмов. Математические достижения сопровождаются изобретениями математических инструментов. В 1621-м году У. Отрел изобретает логарифмическую линейку, о чем он сообщил в трактате «Круги пропорций». В 1623-м году В. Шиккард изготовил счетную машинку, содержащую суммирующее и множительное устройство.

В 1629-м году А. Жирар описал комплексные числа, состоящие из вещественной части и мнимой, образованной на основе числа i – корня квадратного из -1 .

Термин «математика» впервые был введен в 1636-м году итальянским ученым Бернардом Цезиумом (Цезиусом).

В 1641-м году изобретена Б. Паскалем «бабушка» современного арифмометра.

В 1637-м году П. Ферма сформулировал математическую теорему о модулярности, устанавливающей соотношение между эллиптическими кривыми над полем рациональных чисел и модулярными формами, являющимися определенными аналитическими функциями комплексного переменного.

Индоевропейская система счисления Средневековья, основанная на использовании позиционной нумерации и нуля, обеспечила потенциал, недоступный древним грекам, обеспечила развитие алгебры и создание Декартом аналитической геометрии, использование математиками 17-го века бесконечно малых чисел. В 1638-м году Р. Ферма открыл метод нахождения максимумов и минимумов с помощью незначительного изменения переменного в простом алгебраическом уравнении с последующим обращением этого изменения через ноль.

В 1642-м году Б. Паскаль сконструировал механический калькулятор.

В 1641-м году итальянский физик и математик Э. Торричелли сформулировал закон вытекания жидкости из отверстия в стенке открытого сосуда и вывел формулу для определения скорости вытекания и разработал правило квадратуры парабол, а Д. А. Борелли установил зависимость между высотой подъема жидкости в капиллярной трубке и ее диаметром.

В этот же период времени французский геометр Ж. Дезарг заложил основы перспективной и начертательной геометрии, ввел в геометрию понятие бесконечно удаленных элементов; сформулировал теорему, утверждающую, что если соответствующие стороны двух треугольников пересекаются в точках, лежащих на одной прямой, то прямые, соединяющие соответствующие вершины, пересекаются в одной точке.

В этот же период времени английский математик Уоллис Джон Валлис, один из предшественников математического анализа получил значительные результаты также в геометрии, тригонометрии, теории чисел. Издал большой трактат в 1665-м году «Арифметика бесконечного», где ввел придуманный им символ бесконечности, сформулировал определение предела переменной величины, впервые ввел отрицательные абсциссы, вычислил суммы бесконечных рядов – по существу интегральные суммы. Опубликовал монографию «Всеобщая математика или полный курс арифметики» в 1657-м году, «Трактат по алгебре» в 1685-м году. Трактат содержал, среди прочего теорию логарифмов, разложение бинома. Валлис ввел термины: мантисса, интерпретация, интерполяция, непрерывная дробь. Валлис первый математик, у которого алгебра по настоящему переросла в анализ.

В первой половине 17-го века: итальянский математик Б. Ф. Кавальери опубликовал труд «Геометрия», в которой был развит метод определения площадей и объемов – метод «неделимых» и изложены результаты в области анализа; в 1645-м году И. Кепплер описал в книге «Новая стереометрия винных бочек» способ определения объемов разнообразных тел вращения, содержащий первые элементы интегрального исчисления. В ходе астрономических наблюдений он внес вклад в теорию конических сечений, впервые ввел понятия бесконечно удаленной точки и фокуса конического сечения.



В это же время французский математик Пьер де Ферма стал одним из создателей аналитической геометрии, математического анализа, теории вероятностей и теории чисел. В 1638-м году он открыл метод нахождения максимумов с помощью незначительного изменения переменного в простом алгебраическом уравнении с последующим обращением этого изменения через нуль.

В начале 2-й половины 17-го века один из основоположников теории вероятностей нидерландский математик, физик, механик, астроном и изобретатель Х. Гюйгенс в 1651-м году написал сочинение о квадратуре гиперболы, эллипса и круга, в 1654-м году разработал общую теорию эволют и эвольвент, разработал теорию непрерывных дробей, опубликовал трактат «О расчетах при игре в кости», в котором представил первые результаты в исследованиях в области теории вероятности и создании анализа бесконечно малых.

В этот период времени один из основателей математического анализа, теории вероятностей и проективной геометрии, создатель первых образцов счетной механики Б. Паскаль в 1654-м году создает «Трактат об арифметическом треугольнике», в котором исследованы свойства «треугольника Паскаля» и его применение к подсчету сочетаний, не прибегая к алгебраическим формулам. Треугольник Паскаля применяется для вычисления биномиальных коэффициентов, треугольных чисел, многогранников и даже базовых метрических размерностей фракталов. Одним из приложений к трактату была работа «О суммировании числовых степеней», в котором предложен метод подсчета степеней чисел натурального ряда.

В 1666-м году И. Ньютон и Г. Лейбниц независимо друг от друга разрабатывают системы интегрального и дифференциального исчисления.

В 1686-м году И. Ньютон опубликовал труд «Математические начала натуральной философии», в котором сформулированы принципы анализа бесконечно малых.

В 1684-ом году немецкий математик, механик, физик, философ, историк, дипломат и изобретатель Г.В. Лейбниц впервые опубликовал систематический очерк дифференциального исчисления, а в 1686-м году – интегрального. В очерке «Новый метод максимумов и минимумов» даны определения дифференциала и интеграла, знаки для них, приведены правила дифференцирования суммы, частного; установлен взаимно-обратный характер дифференцирования и интегрирования; введены понятия – «функция», «координаты», «алгоритм», даны названия «дифференциальное исчисление», «интегральное исчисление», знаки умножения и равенства. Созданы двоичное исчисление, анализ бесконечно малых.

В конце 17-го века швейцарский математик – один из разработчиков математического анализа и основателей теории вероятностей Я. Бернулли ввел значительную часть понятий теории вероятностей и сформулировал первый вариант закона больших чисел, подготовил трактат по теории вероятностей, статистике и их практическому применению.

В 1702-м году Лейбниц совместно с И. Бернулли открыл прием разложения рациональных дробей на сумму простейших. Это решило многие вопросы интегрирования рациональных дробей. Исследования Лейбница 1703-го года проложили путь к цифровой революции. В первые годы 18-го века И. Бернулли разработал первое систематическое изложение дифференциального и интегрального исчисления, продвинута разработка методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений, найдено характерное геометрическое свойство этих линий и выведено их дифференциальное уравнение; английский математик Т. Брук предложил формулу для различных функций в степенные ряды; Я. Бернулли разработал метод численного решения алгебраических уравнений с помощью возвратных рядов.

С точки зрения математики 18-й век – это век швейцарского, немецкого и российского математика и механика, автора более 850-ти работ Эйлера.

Он впервые увязал анализ, алгебру, геометрию, тригонометрию, теорию чисел и другие дисциплины в единую систему. Благодаря Эйлеру в математику вошли общая теория рядов, теория комплексных чисел, аналитические основы приемов интегрирования, решение дифференциальных уравнений, ряд специальных функций, вариационное исчисление, теория комплексных функций, дифференциальная геометрия поверхностей, основы теории специальных функций и т.д. Введенная им в 1731-м году постоянная величина e используется для математического описания процессов роста и распада. В 1736-м году он нашел решение головоломки семи мостов Кёнигсберга и создал теорию графов. Методы и формулы его используются и в настоящее время – эйлера функции, эйлера числа, эйлера интеграл, эйлера равенство.

В 1743-м году французский математик, механик и философ Ж. Л. Д'Аламбер опубликовал «Трактат о динамике», в котором впервые были сформулированы правила составления дифференциальных уравнений движения любых материальных систем, им дано первое доказательство основной теоремы алгебры.

В этом же году российский математик С. К. Котельников опубликовал труд «Арифметика или первые основания математических наук».

В 1761-м и 1766-м годах соответственно немецкий математик и физик И. Г. Ламберт впервые доказал иррациональность чисел π и e . Он стал од-



ним из основателей неевклидовой геометрии. В своем сочинении «Дополнения к применению математики и их приложения» (1765) он с помощью звездного пятиугольника обосновал математически мнемоническое правило Непера, используемое в сферической тригонометрии для упрощенного получения всех основных соотношений в прямоугольных сферических треугольниках.

В 1759-м году француз итальянского происхождения, математик и механик крупнейший математик 18-го века, Ж. Л. Лагранж издал труды по вариационному исчислению, в них же впервые применил анализ к теории вероятностей. С 1766-го по 1787-й годы он выполнил важные работы по алгебре и теории чисел. В 1767-м году публикует труд «О решении числовых уравнений», а в 1788-ом году труд «Аналитическая механика», в которой введены понятия обобщенных координат и принцип наименьшего действия. В 1795 – 1797-е годы он публикует знаменитую интерполяционную формулу и издает книгу «Теория аналитических функций», а в 1798-м году «О решении численных уравнений».

В 1771-м году французский математик А. Т. Вандермонд написал работу, в которой привел результаты исследований симметричных функций и решение круговых полиномов, и статьи, которые посвящены комбинаторике и основам теории детерминантов.

В конце 18-го века французский математик физик и механик, один из создателей теории вероятностей Пьер-Симон маркиз де Лаплас разработал методы математической физики, дал разложение определителя по минорам в линейной алгебре. В это же время французский математик и физик Ж.-Б. Ж. Фурье представил работу о численном решении уравнений любой степени и теорему о числе действительных корней алгебраического уравнения, лежащих между данными границами, названных позднее его именем.

В конце 18-го века французский математик физик и механик, один из создателей теории вероятностей Пьер-Симон маркиз де Лаплас разработал методы математической физики, дал разложение определителя по минорам в линейной алгебре. В это же время французский математик и физик Ж.-Б. Ж. Фурье представил работу о численном решении уравнений любой степени и теорему о числе действительных корней алгебраического уравнения, лежащих между данными границами, названных позднее его именем.

Также французский математик Г. Монж в этот же период времени: установил принцип непрерывности и смысл обширной неопределенности, которая возникает при интегрировании уравнений с частными производными, произвольными постоянными

и тем более с появлением производных функций; развил теорию полярных плоскостей второго порядка и теорию построения ортогональных проектов трехмерных объектов на плоскости, получивших название эпюр Монжа; открыл круговые сечение гиперболоидов и гиперболического параболоида и др.

В этот период заложены основы теории упругости и создана аналитическая геометрия.

Развитие физики в эпоху Просвещения. В 17-м веке физика, получившая начало формирования как наука в составе натуральной философии, стала развиваться как самостоятельная наука.

В 1606-м году основатель экспериментальной физики Г. Галилей изобрел пропорциональный циркуль, а в 1612-ом году – микроскоп.

В 1637-м году французский физик Р. Декарт издал труд «Рассуждение о методе» с приложениями, где заявил о единстве земной и небесной физики; в трактате «Начала философии» (1644) описал закон инерции и закон сохранения количества движения; в трактатах «Мир» и «Начало философии» поставлена задача математизации физики. Согласно ему изучение физики должно сделать людей «господами и хозяевами природы». Господство над природой человек может достичь применив к физическому исследованию методы математики.

В 1641-м году итальянский физик, математик Э. Торричелли опубликовал труд «О движении свободно падающих и брошенных тяжелых тел», в котором развил принцип движения центров тяжести.

В 1678-м году английский естествоиспытатель и изобретатель, один из отцов экспериментальной физики Р. Гук открыл пропорциональность между упругими растяжениями, сжатиями и изгибами и производящими их растяжениями, установил постоянные точки термометра – таяния льда и кипения воды. Ввел понятие «живой силы» (прообраз современного понятия кинетической энергии) и сформулировал закон сохранения энергии.

В 1686-м году английский физик, математик, механик, один из создателей классической физики И. Ньютон в труде «Математические начала натуральной философии» опубликовал закон всемирного тяготения, сформулировал корпускулярную волновую теорию света, закон движения, закон инерции, закон пропорциональности силы ускорения, закон о действии и противодействии, ввел понятие массы.

В этот же период времени: опубликован труд «О природе воздуха» (Э. Мариотт); сформулирован закон Бойля-Мариотта; выдвинута теория флогистона, которая продержалась около ста лет (И. Г. Бехер, Г. Э. Шталь); выполнены работы по кристаллографии, установлены законы постоянства углов кристаллов; описано строение кристаллов алмаза, кварца, марказита (Н. Стенсен).



Основным достижением физики в 17-м веке явилось создание классической механики, сформулированы ее основные законы; стало понятным, что задача науки состоит в отыскании общих количественно формируемых законов природы; начаты исследования в других областях физики – оптика, учения о электрических и магнитных явлениях, теплоте и акустике.

В 1702-м году французский физик, механик и изобретатель Г. Амонтон определил постоянную термодинамическую точку кипения воды, изобрел воздушный термометр.

В 1704-м, 1717-м и 1721-м годах И. Ньютон опубликовал три издания монографии «Оптика», в которых было представлено описание: принципов геометрической оптики, учения о дисперсии света, интерференции света в тонких пластинах, дифракции и поляризации света.

В первой половине 18-го века впервые установлено количество света, разработан способ изменения яркости света, установлен закон ослабления луча света в поглощающей среде, открыто уменьшение света при прохождении слоев воздуха (П. Бугер).

В 1717-м году французский физик Д. Жюрен и итальянский физик, натуралист и астроном Д. Борелли открыли закон о том, что в капиллярных трубках подъем жидкости обратно пропорционален диаметру трубки.

В 1721-м году немецкий физик Г. Фаренгейт открыл, что вода может быть охлаждена ниже температуры замерзания и оставаться в жидком состоянии; в 1724-м году он предложил шкалу для измерения температуры, по которой температура таяния льда равна +32 F.

В 1730-м году французский естествоиспытатель, физик и математик Р. Реомюр описал изобретенный им спиртовой термометр, шкала которого определялась точками кипения и замерзания воды и была разделена на 80 градусов.

В 1734-м году французский физик Ф. Дюфе открыл два рода электрического заряда (положительный и отрицательный); первым доказал, что одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно – притягиваются. Впервые сконструирован электроизмерительный прибор. Опубликована фундаментальная работа «Оптика» из трех книг, проведены фундаментальные исследования дисперсий света, что положило начало оптической спектроскопии (И. Ньютон). Найдена формула определения высоты по атмосферному давлению – по мере возрастания высоты в арифметической прогрессии атмосферное давление уменьшается в геометрической прогрессии. В науку введены понятия – проводник, изолятор; открыто явление электромагнитной индукции (С. Грей). Проведены первые опыты исследования.

В 18-м веке утвердилась идея теплорода (Лавуазье, Гальвани). Теплород – гипотетическая тепловая материя (невесомая жидкость), присутствием которой в телах в 18-м веке пытались объяснить тепловые явления (нагрев тел, тепловое расширение, тепловое равновесие и т.д.). Для этого теплороду пришлось приписать необычные свойства: невесомость, наибольшую с другими веществами упругость, способность проникать в мельчайшие поры тел и расширять их. В 18-м веке для объяснения физических и химических веществ теплород рассматривали наряду с другими невесомыми жидкостями, например с флогистонном.

В опровержение теории флогистона еще в конце 18-го века были выдвинуты доказательства того, что нагрев тел может быть осуществлен за счет механической работы. В конце 18-го века было создано первое в истории устройство получения электрической энергии (батарея А. Вольта).

Успехи физики 18-го века: механика из геометрической превратилась в аналитическую; рядом с небольшой механикой возникла математическая физика, усовершенствована термометрия, возникла калориметрия, утвердилась оптика, во второй половине 18-го века возникла новая наука – наука об электричестве.

В 1757-м году шотландский физик и химик Д. Блэк ввел понятие скрытой теплоты, открыв температуру плавления и парообразования, с 1759-го по 1763-й годы обнаружил различие между количеством теплоты и ее температурой, ввел понятие теплостойкости.

В 1771-м году английский физик и химик Г. Кавендиш определил, значение диэлектрических постоянных ряда веществ, в 1798-м году определил гравитационную постоянную, массу и среднюю плотность Земли.

В 1772-м году шведский физик-экспериментатор И. Вильке выполняя первые измерения удельной теплостойкости твердых тел, предложил первую единицу измерения тепла (калория).

В 1775-м году немецкий физик и математик И. Ламберт положил начало фотометрии.

В 1780-м году французский естествоиспытатель, химик А. Лавуазье в своем мемуаре описал результаты калориметрических и термохимических исследований, которые представили способ определения расширения твердых тел. Он один из создателей идеи теплорода – гипотетической тепловой материи (невесомой жидкости), присутствием которой в телах в 18-м веке пытались объяснить тепловые явления. Теплород рассматривался наряду с флогистонном.

В 1792-м году итальянский физик, химик и философ, один из основоположников учения об электричестве А. Вольта создал первое в истории устрой-



ство получения электрической энергии – гальванический элемент. Он изобретатель конденсатора, электрометра, электрофора, электроскопа. Доказал контактную разность потенциалов между разными металлами.

В 1798-м году американский ученый и изобретатель, авантюрист и государственный деятель Р. Б. Томпсон впервые показал связь между механической работой и внутренней энергией, которую рассматривал как результат особого вида движения материи. Он заложил основы термофизики, изобрел калориметр, печи для обжига кирпича и др.; открыл явление конвекции в газах и жидкостях.

Развитие физической дисциплины – механики в эпоху Просвещения. 17-й век – период создания научных основ динамики, а вместе с тем и всей механики – именно тогда сформировались основные законы классической механики. В первой половине 17-го века:

- итальянский ученый Г. Галилей заложил основы современной механики, дал первое верное решение задачи о движении тела под действием силы, найден закон равноускоренного падения тела в вакууме; открыл формулу полета тела, движущегося под углом к горизонтальной поверхности; установил два основных положения механики – принцип относительности и закон инерции, ставший основополагающей аксиомой механики; положил начало теории колебаний, открыв изохронность малых колебаний маятника, сформулировал в общем виде золотое правило статистики – начальную форму принципа возможных перемещений, заложил предпосылки развития сопротивления материалов как самостоятельной науки; в работе «Беседы и математические доказательства двух новых наук» представил начала сопротивления материалов и динамики, создал основу для разработки расчетов на прочность, установил, что сила разрывающая стержни, пропорциональна площади его поперечного сечения; в работе «Диалектика природы» привел классификацию видов движения; в работе «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых начал» представил описания равномерного, равноускоренного и принужденного движения брошенных тел; закона изменения скорости пропорционально времени и пройденного пути пропорционально квадрату времени;

Общий характер развития механики в 17-м веке характеризуется формированием первой подлинно математической физической мировой системы, законов – движения планет, инерции, падения и движения брошенных тел в пустоте, сохранения энергии, тяготения, удара, теорий – колебания маятника, гидростатики и тяжести воздуха, сопротивления жидкости и движения в сопротивляющейся среде. Механика сделалась основным стержнем

научных представлений о окружающем мире, в которой заложены принципиальные основы классической механики.

Начало 17-го века – период завершения эпохи Возрождения и перехода к капитализму, одной из составляющих которого начало научной революции, сопровождающегося зарождением бурного развития математического естествознания, в условиях которого началось формирование и основных законов классической механики.

- французский математик и механик, благодаря которому теоретическая механика стала центральной наукой эпохи, Р. Декарт – создатель механицизма в физике открыл закон сохранения количества движения, разработал теорию удара, ввел понятие импульса силы, в труде «Основы философии» сформулировал два закона инерции: «Всякое тело остается в таком состоянии, в котором оно находится, пока какие либо причины его не изменяют» и «Каждая материальная частица, продолжая свое движение, никогда не стремится двигаться по кривым линиям, а только по прямой, всякое тело стремится удалиться от описываемой им окружности, можно почувствовать это рукой»;

- немецкий астроном и механик И. Кепплер уточнил понятия силы и массы, установил закон площадей – прообраз и частный случай закона моментов количества движения, ввел термин «инерция» как природное свойство тел сопротивляться приложенной внешней силе;

- итальянский ученый-универсал, основатель биомеханики, Д. Борелли установил обратную зависимость между высотой объема жидкости в капиллярной трубке и ее диаметром, что законами механики можно объяснить движение частей тела человека и животных при поднятии тяжестей, ходьбе, беге и плавании;

- французский математик, механик, и физик Ж. П. Роберваль написал «Трактат о механике», в котором в основу своего изложения статики положил два фундаментальных закона: закон равенства моментов сил и закон параллелограмма сил, который впервые рассматривался в качестве всеобщего закона статики;

- ученик Галилея, продолжатель его дела в разработке новой механики, итальянский ученый Э. Торричелли в труде по механике «О движении свободно падающих и брошенных тел» сформулировал принцип движения центров тяжести и закон скорости истечения жидкости из сосудов;

- английский математик Д. Валлис сформулировал закон параллелограмма сил, решил вопрос об упругом соударении шаров;

- французский математик, механик, автор закона гидростатики и создатель первых образцов счетной техники Б. Паскаль установил, что давление



на поверхность жидкости, произведенное внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях;

Во второй половине 17-го века:

- нидерландский механик, физик, математик Х. Гюйгенс, один из основоположников теоретической механики в 1654-м году издал классический труд по механике «Маятниковые часы», в котором привел множество открытий в области теоретической механики, выводы общих законов движения тел в поле тяжести свободных, движущихся по наклонной плоскости, скатывающихся по циклоиде; выведены законы равноускоренного движения свободно падающих тел; приводятся 13 теорем о центробежной силе; введены понятия о центростремительной силе и о моменте инерции; установлены законы упругого удара двух тел, описана динамика равномерного кругового движения, движение центра тяжести системы;

- английский естествоиспытатель Р. Гук открыл пропорциональность между упругими деформациями при растяжении, сжатии и изгибе и производящими их напряжениями (закон Гука), выдвинул волновую теорию света и гипотезу о поперечном характере световых волн, сделал множество изобретений;

- в 70-х годах 17-го английскому ученому И. Ньютону в разработке классической механики удалось сделать больше, чем многие его предшественники вместе взятые: в 1686-м году опубликовал фундаментальный труд «Математические начала натуральной философии», в котором изложены законы всемирного тяготения, инерции, пропорциональности силы ускорения, действия и противодействия; первый закон – если на тело не действует сила или действие скомпенсировано, то данное тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения; второй закон – ускорение тела прямопропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, обратно пропорционально массе тела и направлена в сторону равнодействующей силы; третий закон – два тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению вдоль прямой, соединяющей их точки приложения; создал для механики аксиоматическую основу, которая перевела эту науку в разряд строгих математических теорий; создал динамику, связывающую поведение тела с характеристиками силовых внешних воздействий на него; создал стройную систему земной и небесной механики, теорию движения небесных тел;

- немецкий механик, математик и физик Г. Лейбниц ввел в механике понятия – количественной меры движения – произведение массы тела на квадрат скорости и «живой силы» (образ современного понятия кинетической энергии) и сформу-

лировал закон сохранения энергии; он в 1684-м году впервые опубликовал систематический очерк дифференциального исчисления, а в 1686-м году – интегрального, в этом очерке были даны определения дифференциала и интеграла, знаки для них, приведены правила дифференцирования суммы, частного; установлен взаимно-обратный характер дифференцирования и интегрирования; введены понятия – «функция», «координаты», «алгоритм»;

- французский механик и математик П. Вариньон в 1687-м году опубликовал трактат «Проект новой механики», в котором дана четкая формулировка закона пропорциональности тел, развито понятие момента сил; приведена теорема механики (Вариньона), устанавливающая зависимость между моментом сил данной системы и моментом их равнодействующей, используемая при решении задач механики – статики, сопротивления материалов, теории сооружений и др.; получено доказательство теоремы о моменте равнодействующей, построена статика на основе правил сложения и разложения сил;

- французский физик и естествоиспытатель Э. Мариотт описал результаты испытаний образцов различных пород древесины и различных сортов бумаги на прочность.

В первой половине 18-го века:

- в 1703-м году российский ученый Л. Магницкий опубликовал первую в России энциклопедическую книгу по физико-математическим дисциплинам «Арифметика, сиречь наука числительная», с которой началось распространение знаний в России по механике;

- в 1727-м году швейцарский ученый В. Н. Бернулли издал первое учебное руководство по инженерным дисциплинам – гидравлике, гидромеханике, строительной механике и сопротивлению материалов;

- в 1729-м году голландский физик П. Мутенброк опубликовал результаты испытаний механических свойств древесины;

- другой швейцарский математик и механик И. Бернулли в 1743-м году опубликовал монографию «Гидравлика, впервые открытая и доказанная на чисто механических основаниях» в которой привел успешное применение закона сохранения энергии, и монографию «Избранные сочинения по механике»;

- швейцарский, немецкий и российский математик и механик, внесший фундаментальный вклад в развитие наук, Л. Эйлер – автор более 850-ти работ по разным областям наук, опубликовал в 1736-м году двухтомный трактат «Механика или наука о движении, в аналитическом выражении», в котором впервые дано последовательное аналитическое изложение механики материальной точки, заложены основы кинематики и динамики твердого тела, разработана теория движения твердых тел, представлена совокупность уравнений динамики, представ-



ляющих законы количества движения и момента количества движения (эйлеровы законы механики); в опубликованной в 1752-м году работе «открытие нового принципа механики» он сформулировал в общем виде ньютоновы уравнения движения в неподвижной системе координат, открыв путь для изучения механики сложных сред; трактат «Теория движения твердых тел» он посвятил динамике твердого тела и стал ее основоположником; ряд его исследований в теории упругости посвящены теории изгиба упругого стержня, определению критической нагрузки при сжатии упругого стержня, разработке теории движения Луны, теории гидравлических турбин; его решения по предельному состоянию применяются и в настоящее время при решении проблемы устойчивости колонн под нагрузкой.

В 18-м веке произошла дифференциация между математикой и механикой, были заложены основы аналитической механики, в механике начал широко использоваться математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, Механика по содержанию стала наукой.

Во второй половине 18-го века:

- французский ученый Ж. Перроне опубликовал результаты обширных исследований прочности каменных материалов;

- итальянский математик, механик и архитектор Д. Риккати в 1767-м году измерил частоты изгибных колебаний стальных и латунных цилиндров и определил отношение их модулей упругости;

- хорватский ученый, священник-иезуит Р. Бошкович в своем труде «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе» развил гипотезу, с помощью которой объяснил упругость, прочность, пластичность и некоторые другие свойства тел;

- французский ученый-энциклопедист Ж. Д'Аламбер в «Трактате о динамике» впервые сформулировал общие правила составления дифференциальных уравнений движения любых материальных систем, сведя задачи динамики к статике; в этом трактате он сформулировал также «основные принципы механики», к которым он отнес: «принцип инерции», «принцип сложения движений» и «принцип равновесия»;

- в 1774-м году российский ученый С. Котельников издал труд «Книга, содержащая в себе учение о равновесии и движении тел»;

- французский математик, механик и астроном итальянского происхождения Ж. Л. Лагранж во второй половине 18-го века опубликовал трактат «Аналитическая механика», в котором впервые установлена возможность продольного изгиба по нескольким полуволнам и определено значение критической силы при различных концевых закреплениях; дан точный интеграл уравнения предельного изгиба и выведена связь между величиной нагрузки и стрелой прогиба;

- французский ученый и инженер Ш. О. де Кулон в конце 18-го века: сформулировал закон кручения и сухого трения; создал теорию и расчет сводов и подпорных стенок, вывел закон о пропорциональности между нагрузкой упругой части деформации вплоть до разрушения; разработал теорию трения скольжения; в 1773-м году привел результаты исследований на растяжение и сжатие образцов песчанника;

- российский ученый С. Гурьев опубликовал труд «Основания механики».

Библиографический список

1. Пиковец К. Великая математика. От Пифагора до 57-мерных объектов. 250 основных вех в истории математики / К.Пиковец: перевод с англ. С.А.Иванова - М.: Лаборатория знаний, 2015 – 539 с.
2. Пиковец К. Великая физика. От большого взрыва до квантового воскрешения / К. Пиковец: перевод с англ. М.А.Смондырева – 2-е издание - М.: Лаборатория знаний, 2016 – 551 с.
3. История механики с древнейших времен до конца XVIII века - М.: Наука, 1972.
4. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. История науки и механики: учебное пособие для вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное - СПб.: Лань, 2022 – 528 с.
5. Рахимов, Р. З. Осенний марафон строительного материаловедения / Р. З. Рахимов, Н. Р. Рахимова // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 2. – С. 137-141. – EDN WFFVHJ.
6. Научные основы материаловедения / отв. редактор Копецкий Ч.В. – М.: Наука, 1981 – 259 с.
7. Иванов Б.Н. Законы физики. 3-е издание - М.: Эдиториал УРСС, 2004 – 368 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

Обзорная статья

УДК 69

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

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.1. Строительные конструкции, здания

и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_2_75

КРАТКИЕ ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»

© Авторы 2025

SPIN: 4845-3197

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

Российская академия архитектуры и строительных наук;

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

им. Н.П. Огарёва

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

SPIN: 7494-0840

НИЗИНА Татьяна Анатольевна

доктор технических наук, профессор, директор Института архитектуры и строительства

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

им. Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

SPIN: 4261-5338

БОГАТОВ Андрей Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

им. Н.П. Огарёва

(Россия, Саранск)

Аннотация. 26 марта в МГУ им. Н. П. Огарёва состоялась Международная научно-практическая конференция «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций». Также было проведено заседание Научного совета «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Российской академии архитектуры и строительных наук. Открыли мероприятие проректор по цифровому развитию Константин Лещанкин и первый заместитель Министра строительства и архитектуры РМ Сергей Пронькин. В конференции приняли участие учёные из Тулы, Москвы, Дальнего Востока, Нижнего Новгорода, Пензы, Ингушетии, Новосибирска, Тамбова, Казани, Белгорода, Республики Беларусь и др. Они обсудили принципы моделирования процессов разрушения строительных материалов с гетерогенной структурой, методики определения расчетных свойств полимерного композиционного материала конструкционного назначения, механизмы морозного разрушения бетона с позиций механики разрушения и другое¹.

Ключевые слова: строительные материалы; строительные конструкции; строительная механика; механика деформируемого твердого тела; строительная отрасль; научно-техническая конференция

Для цитирования: Селяев В.П., Низина Т.А., Богатов А.Д. Краткие итоги международной научно-технической конференции «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций» // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 75-79. doi:10.51608/26867818_2025_2_75.

¹ Обсуждаем вопросы сферы строительства. URL: <https://mrsu.ru/ru/news/obsuzhdaem-voprosy-sfery-stroitelstva>.



SUMMARY OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
"DURABILITY OF BUILDING MATERIALS, PRODUCTS AND STRUCTURES"

© The Author(s) 2025

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of "Building Structures"
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: nform80@mail.ru)

NIZINA Tatiana Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

BOGATOV Andrey Dmitrievich

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

Abstract. On March 26, the International Scientific and Practical Conference "Durability of Building Materials, products and structures" was held at the Ogarev Moscow State University. A meeting of the Scientific Council "Mechanics of Destruction of concrete, reinforced concrete and other building materials" of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences was also held. The event was opened by Konstantin Leshchankin, Vice Rector for Digital Development, and Sergey Pronkin, First Deputy Minister of Construction and Architecture of the Republic of Moldova. The conference was attended by scientists from Tula, Moscow, the Far East, Nizhny Novgorod, Penza, Ingushetia, Novosibirsk, Tambov, Kazan, Belgorod, the Republic of Belarus and others. They discussed the principles of modeling the processes of destruction of building materials with a heterogeneous structure, methods for determining the computational properties of a polymer composite material for structural purposes, mechanisms of frost destruction of concrete from the standpoint of fracture mechanics, and more².

Keywords: building materials; building structures; construction mechanics; mechanics of deformable solids; construction industry; scientific and technical conference

For citation: Selyaev V.P., Nizina T.A., Bogatov A.D. Summary of the international scientific and technical conference "Durability of building materials, products and structures" // *Expert: theory and practice*. 2025. № 2 (29). Pp. 75-79. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_2_75.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва 26-28 марта 2025 года стал площадкой для проведения в рамках заседания Научного совета «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Российской академии архитектуры и строительных наук международной научно-технической конференции «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций».

В мероприятии в очном и дистанционном форматах приняли участие ученые из многих городов России. Открытие конференции состоялось 26 мая 2025 года. С приветственными словами к участникам научно-технической конференции обратились: проректор по цифровому развитию НИ МГУ им. Н.П. Огарёва, к.т.н., Лещанкин Константин Александрович, к.т.н., пер-

вый заместитель Министра строительства и архитектуры Республики Мордовия Пронькин Сергей Петрович, президент СРО «Ассоциация строителей Мордовии» Гришин Виктор Герасимович.

Далее участники приступили к рассмотрению вопросов, обозначенных в программе конференции. В качестве основных направлений были определены:

- Механика разрушения строительных материалов, изделий и конструкций;
- Строительные материалы и технологии;
- Теория расчета строительных конструкций;
- Инженерные системы зданий и сооружений;
- Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций;
- Автомобильные дороги и специальные инженерные сооружения.

² We are discussing construction issues. URL: <https://mrsu.ru/ru/news/obsuzhdaem-voprosy-sfery-stroitelstva>.



- Организация, управление и экономика в строительстве;
- Инновации в учебном процессе. Компьютерная графика и автоматизация проектно-конструкторских работ.

с потенциалом деформаций, представленного в тензорном пространстве нормированных напряжений. В результате решения тестовой задачи получены распределения характерных перемещений и напряжений.



Пленарное заседание открылось докладом академика РААСН, д.т.н., профессора, зав. кафедрой строительных конструкций НИ МГУ им. Н.П. Огарёва Селяева Владимира Павловича на тему «Основные принципы моделирования процессов разрушения строительных материалов с гетерогенной структурой». Доклад сопровождался представлением многочисленных результатов многолетних исследований в области теории сопротивления материалов внешним воздействиям. С учетом новых экспериментальных данных и накопленного опыта были предложены новые методологические принципы построения теории разрушения строительных материалов и изделий с гетерогенной структурой.

Доклад на тему «Деформирование основания с концентраторами напряжений, состоящего из ортотропных слоев, обладающих наводимой неоднородностью» был представлен членом-корреспондентом РААСН, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой ССМиК Тульского государственного университета Трещевым Александром Анатольевичем (соавтор – аспирант кафедры ССМиК Тульского государственного университета Бесстрашнов Дмитрий Олегович). В нем были раскрыты вопросы, связанные с математической моделью деформирования фрагмента слоистого полупространства, интерпретирующего грунтовое основание, находящееся под давлением жесткого штампа типа массивного фундамента. Были рассмотрены уравнения состояния деформируемых сред, принятые в соответствии

с проблемами ледовой абразии и эрозии железобетонных конструкций сооружений континентального шельфа доложили советник РААСН, к.т.н., профессор департамента морских арктических технологий ДВФУ Ким Лев Владимирович (соавтор доклада – академик РААСН, д.т.н., профессор, научный руководитель Политехнического института ДВФУ Беккер Александр Тевьевич). Были озвучены результаты многолетних натурных наблюдений, подтверждающих факт того, что безопасная эксплуатация железобетонных платформ зависит от достоверной идентификации механизмов разрушения конструкций и точности модели расчета. В ходе доклада представлена модель, описывающая поведение сплошных сред, фазовые переходы в них, критерии разрушения и фрагментации тел под действием нагрузок и континуальные модели разрушений.

Главный научный сотрудник НИИСФ РААСН, к.т.н. Бессонов Игорь Вячеславович (соавтор доклада – член-корреспондент РААСН, д.т.н., профессор, директор НИИСФ Шубин Игорь Любимович) представил исследовательский материал о сроках эффективной эксплуатации материалов и изделий на основе пеностекла. Были изложены результаты натурных наблюдений за изделиями на основе пеностекла в элементах зданий и сооружений после длительного воздействия реальных эксплуатационных сред.

О методиках определения расчетных свойств полимерного композиционного материала конструкционного назначения доложил член-корреспондент АН РТ, советник РААСН, д.т.н., профессор Казанского



государственного архитектурно-строительного университета Сулейманов Альфред Мидхатович. Основная мысль доклада была сведена к изложению принципов разработки методов ускоренных испытаний полимерных строительных материалов, основанных на принципах трансформации энергетических значений факторов, ответственных за старение и разрушение этих материалов.

Исследованию прочностных и деформационных характеристик бетонов и фибробетонов на основе порошково-активированной цементной матрицы был посвящен доклад советника РААСН, д.т.н., профессора, декана факультета «Управление территориями» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Тараканова Олега Вячеславовича (соавторы – к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Москвин Роман Николаевич; к.т.н., доцент кафедры «Кадастр недвижимости и право» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Белякова Елена Александровна). В докладе была рассмотрена возможность создания современных высокопрочных бетонов нового поколения с использованием современных армирующих материалов. Проанализированы этапы развития технологии высокопрочных сталефибробетонов в России и за рубежом. Показаны преимущества армированных высокопрочных бетонов перед традиционными. Показана возможность получения бетонов прочностью 200 МПа и более на основе суперпластификаторов тонкодисперсных реакционно- и гидравлически активных микронаполнителей и отходов камнедробления.

Анализу прочностных характеристик тяжелого бетона с учетом механики разрушения был посвящен доклад к.т.н., доцента, профессора кафедры «Физика» Ингушского государственного университета Султыговой Пятимат Суламбековны (соавтор – советник РААСН, д.т.н., профессор Доркин Валентин Васильевич). В нем были представлены результаты исследований характера развития трещин, длительной прочности и деформативности образцов тяжелого бетона, предварительно подвергнутого кратковременному температурному воздействию, под нагрузкой и без нее.

О проблемах, связанных с информационным подходом к оценке долговечности железобетона в морской среде зашла речь в докладе советника РААСН, к.т.н., профессора департамента морских арктических технологий ДВФУ Ким Льва Владимировича (соавтор – иностранный академик РААСН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» Белорусского национального технического университета Леонович Сергей Николаевич). Был рассмотрен опыт применения машинного обучения в бетоноведении, в частности, в оценивании и прогнозировании долговечности

железобетонных конструкций в морской среде (на континентальном шельфе). На основании обзора исследований и анализа достоинств и недостатков применения техник машинного обучения предложены пути устранения узких мест.

Доклад д.т.н., профессора кафедры «Строительное материаловедение» НИУ МГСУ Панченко Александра Ивановича был посвящен теме «Механизм морозного разрушения бетона с позиций механики разрушения». Результаты исследований, представленные в докладе, показали, что положения механики разрушения, описывающие процесс усталостного разрушения, могут быть использованы для описания и анализа механизма морозного разрушения. Это позволит разработать способы управления процессом морозного разрушения, его замедления и повышения морозостойкости бетона.

«Фрактальные методы анализа кинетики накопления повреждений в структуре полимерных материалов под действием статических и динамических нагрузок и факторов окружающей среды», так звучала тема доклада советника РААСН, д.т.н., профессора, директора института архитектуры и строительства, профессора кафедры строительных конструкций НИ МГУ им. Н.П. Огарёва Низиной Татьяны Анатольевны (соавтор – к.т.н., доцент кафедры строительных конструкций Низин Дмитрий Рудольфович). В докладе была представлена методика оценки накопления повреждений при циклическом нагружении образцов полимерных материалов, основанная на использовании методов фрактального анализа временных рядов. Выявлен комплекс показателей повреждаемости, расчет которых необходимо проводить в процессе исследований. Показано, что для оценки фактора влияния окружающей среды целесообразно к комплексу интегральных физико-механических показателей (модуль упругости, предел прочности и относительное удлинение при растяжении и разрыве) определять накопленное число повреждений и удельный показатель повреждений в момент разрушения.

К.т.н., доцент кафедры ЖБК НИУ МГСУ Капустин Дмитрий Егорович представил доклад на тему «Длительная прочность высокопрочных бетонов при осевом сжатии» (соавторы – старший преподаватель кафедры ЖБК Домарова Екатерина Владимировна и научный сотрудник НИУ МГСУ Безгодов Игорь Михайлович). В докладе были приведены результаты исследований, свидетельствующие о необходимости экспериментального уточнения существующих моделей деформирования сталефибробетона в условиях длительного нагружения. Представлены зависимости для расчета железобетонных конструкций с несъемной опалубкой из сталефибробетона при воздействии длительно действующей нагрузки.

Завершилась первая часть пленарного заседания докладом на тему «Теплоизоляционные матери-



алы на основе пенополистирольных и растительных отходов» представленным к.т.н., доцентом, зав. кафедрой «Строительные материалы, стандартизация и сертификация» Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) Смирновой Ольгой Евгеньевной (соавтор – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Новосибирского государственного аграрного университета Пичугин Анатолий Петрович). В докладе были рассмотрены вопросы возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе отходов пенополистирола и древесно-растительных отходов. Представлены результаты по исследованию изменения адгезионной прочности композитов на основе поликомпонентного растительного наполнителя, с модифицированными гранулами пенополистирола от содержания модификатора и коллоидного раствора диоксида кремния. Отмечено увеличение прочности и снижение расхода полимерсиликатного связующего при введении модифицированных гранул пенополистирола.

Во второй части заседания были заслушаны доклады аспирантов и магистрантов, представлявших различные ВУЗы страны среди которых: Московский государственный строительный университет (Климушкин Дмитрий Олегович, Примкулов Алим Махмудович); Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (Красова Анна Викторовна); Тамбовский государственный технический университет (Данилов Владислав Михайлович); Тульский государственный университет (Чигинская Ирина Андреевна); Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Грязнов Сергей Юрьевич, Бусаргин Дмитрий Александрович) и другие.

В докладах молодых ученых был затронут целый ряд специальных и очень актуальных на сегодняшний день вопросов, среди которых исследование деформирования элементов стержневых конструкций при численном анализе их устойчивости, использование методов математического моделирования и машинного обучения при решении актуальных задач в области строительства, подбор составов и исследование свойств строительных материалов, в том числе с использованием техногенных отходов и другие.

Доклад из блока «Инновации в учебном процессе. Компьютерная графика и автоматизация проектно-конструкторских работ» на тему «Внедрение технологий информационного моделирования в учебный процесс на графических дисциплинах в институте архи-

тектуры и строительства» был представлен к.т.н., доцентом кафедры инженерной и компьютерной графики НИ МГУ им. Н.П. Огарёва Ошкиной Ларисой Михайловной. В нем были освещены вопросы, связанные с государственными решениями по цифровизации строительной отрасли и рассмотрен практический опыт внедрения информационных технологий моделирования зданий и сооружений в учебный процесс на графических дисциплинах в Институте архитектуры и строительства МГУ им. Н. П. Огарёва.

Доклад на тему «Эффект буферизации влажности в штукатурных покрытиях: влияние на энергоэффективность зданий» был представлен коллегами (преподаватель кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» Иванова Виктория Федоровна; младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Самоочищающиеся покрытия» Инновационного научно-образовательного и опытно-промышленного центра наноструктурированных композиционных материалов Неровная Софья Владимировна; аспирант Ветков Василий Валерьевич) из Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова. В докладе говорилось о штукатурных покрытиях с высоким показателем буферизации влаги (MBV) способных пассивно регулировать микроклимат помещений, снижая энергопотребление на отопление и кондиционирование. Исследования показывают, что применение таких покрытий может снизить энергозатраты на кондиционирование до 15%. Особую эффективность они демонстрируют в помещениях с высокими колебаниями влажности, например, в ванных комнатах. Актуальность внедрения данных технологий в строительство обусловлена их способностью повышать энергоэффективность зданий и улучшать комфорт проживания.

Конференция завершилась дискуссией. Окончательные итоги подвел академик РААСН, д.т.н., профессор, зав. кафедрой строительных конструкций НИ МГУ им. Н.П. Огарёва Селяев Владимир Павлович.

В своём решении участники отметили, что затронутые на конференции проблемы являются важными для выработки приоритетных решений в области научных исследований, а также внедрения разработок в строительной отрасли и в учебном процессе.

Оргкомитет и участники конференции выражают искренние слова благодарности за активное участие и обеспечение информационного сопровождения сетевому научно-практическому изданию «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

ЮБИЛЕЙ НГАСУ (СИБСТРИН)

Редакционная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

95 лет НГАСУ (Сибстрин)

Редакционный совет, редакционная коллегия сетевого научно-практического издания «Эксперт: теория и практика» поздравляют коллективы преподавателей, сотрудников, студентов, ветеранов, выпускников, коллег и друзей с 95-летием ведущего строительного вуза Сибирского региона – Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (НГАСУ СИБСТРИН)!

*Уважаемые коллеги!
Благодарим Вас, вкладывающих свои знания,
талант и силы для процветания Сибстрина. Желаем Вам
крепкого здоровья, благополучия и творческого долголетия!*

Editorial article

95 years of NSUACE (Sibstrin)

Editorial council and editorial board of the online scientific-practical publication "Expert: Theory and Practice" sincerely congratulate the team of professors, employees, students, veterans, graduates, colleagues, and friends with the 95th anniversary of the leading construction university of the Siberian region – Novosibirsk State University of Architecture and Construction (NSUACE SIBSTRIN)!

*Dear colleagues!
Thank you for contributing your knowledge,
talent and strength to the success of Sibstrin.
We wish you good health, prosperity and creative longevity!*





Прошло торжественное мероприятие с поздравлениями и награждениями. Открыл торжественное мероприятие д-р технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог России, ректор Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) **Юрий Леонидович Сколубович**:

—«Дорогие преподаватели, сотрудники, студенты, аспиранты, ветераны, наши попечители, гости! Я всех вас приветствую в эту прекрасную дату – 95-летие нашего любимого Сибстрина! У нас великолепная история. Сибстрин стал первым и долгое время оставался единственным вузом за Уралом, который готовил строителей для сибирского региона.

И мы гордимся теми, кто стоял у истоков нашего университета; гордимся нашими учёными – основателями научных школ; преподавателями, вложившими всё в своих учеников и в развитие нашего университета. Это праздник для всех наших выпускников – а их более 50 тысяч! Это великолепные строители, специалисты, инженеры, архитекторы, которые сегодня трудятся во всех уголках России и ещё в более чем 70 странах мира.

Я хочу поблагодарить всех наших преподавателей и студентов за вклад в развитие университета. Более 200 студентов только в прошлом году получили дипломы за отличную работу на различных конкурсах. И благодаря им вуз вошёл в ТОП-8 по итогам Всероссийского инженерного конкурса. Мы этим гордимся и уверены, что университет продолжит развиваться и преумножать свою славу.

Мы планируем дальнейшее продвижение. Наша задача – попасть в программу «Приоритет 2030». Наша задача – укрепление материально-технической базы, создание современного кампуса, улучшение условий для работы и проживания наших студентов и преподавателей. Хочу поблагодарить наших попечителей, которые помогают нам во всём, чтобы мы двигались вперёд и реализовывали свои планы.

Всех поздравляю с замечательной юбилейной датой. Желаю здоровья, успехов вам и вашим семьям!».

В этот день Сибстрин получил поздравления от друзей и единомышленников:

- министра строительства и ЖКХ РФ И.Э. Файзуллина;
- министра иностранных дел РФ С.В. Лаврова.

Участников торжественного мероприятия приветствовали высокие гости:

- заместитель губернатора Новосибирской области Р.А. Теленчинов;
- заместитель председателя Законодательного собрания Новосибирской области М.П. Мамедов;

- министр строительства Новосибирской области Д.Н. Богомолов;
- и.о. министра ЖКХ и энергетики Новосибирской области Е.Г. Назаров;
- зам. министра образования Новосибирской области С.С. Малина;

- председатель постоянной комиссии по социальной политике и образованию Совета депутатов г. Новосибирск И.Н. Титаренко;

- глава администрации Октябрьского р-на г. Новосибирск Ф.В. Каравайцев;

- генеральный директор СРО АСОНО М.А. Бирюкова;

Коллектив НГАСУ (Сибстрин) получил награды и благодарности:

- Почётную грамоту Министерства науки и высшего образования РФ;

- Почётную грамоту губернатора Новосибирской области;

- Почётную грамоту Законодательного собрания Новосибирской области;

- Благодарственное письмо министра ЖКХ и энергетики Новосибирской области;

- Почётную грамоту Совета депутатов г. Новосибирск;

- Почётную грамоту Ассоциации «Национальное объединение строителей»;

- Почётную грамоту Национального объединения изыскателей и проектировщиков;

- Диплом Российского Союза строителей.

Присвоены почётные звания:

- зав. кафедрой ВМ Ю.А. Чиркунову – «Почётный работник сферы образования РФ»;

- директору ИС В.А. Гвоздеву – «Почётный работник науки и высоких технологий РФ».

Почётными грамотами и Благодарственными письмами награждены:

- зав. кафедрой ГГХ Д.В. Карелин;

- зав. кафедрой СМСС О.Е. Смирнова;

- зав. кафедрой ИГ О.В. Солнышкова;

- зав. кафедрой ТМ А.А. Белкин;

- зав. кафедрой ИКГ К.А. Вольхин;

- начальник УД и КР Т.П. Проценко;

- ст. преподаватель кафедры ТОС М.А. Рублёв;

- директор ИБФО А.Ю. Сколубович;

- доцент кафедры СМАЭ А.С. Дедов;

- начальник УИ А.С. Суханов;

- ст. преподаватель кафедры АПЗС В.В. Геронимус;

- профессор кафедры ЖБК В.А. Беккер;

- первый проректор А.С. Евдокименко;

- зав. кафедрой ИГОФ С.В. Линовский;

- зав. кафедрой ЭУСП Н.И. Нижальская;

- директор проектно-экспертной компании «Рекон» Б.Н. Васюта;



- ген. директор АО «Бердский строительный трест» А.А. Воронин;
- ген. директор ЗАО РСУ-5 М.И. Голубев;
- ген. директор ООО ГК «Сибпродмонтаж» С.Д. Ковальский;
- ген. директор ООО «СибМонтажСпецСтрой» А.В. Павлов;
- проректор по АХР и КБ Д.В. Балчугов;
- доцент кафедры МДК А.А. Кользеев;
- зав. отделом библиотеки Л.Б. Кемпи;
- зав. кафедрой ФХ Е.П. Матус;
- профессор кафедры ЖБК В.А. Беккер;
- доцент кафедры СМ Ю.А. Гербер;
- ст. преподаватель кафедры АРГС Ю.О. Лесотова;
- гл. науч. сотрудник В.Я. Рудяк;
- профессор кафедры СМ В.Г. Себешев;
- гл. механик Е.А. Авхимович;
- ст. преподаватель кафедры ИЯ Н.М. Морозова.

За значительные заслуги в сфере образования и добросовестный труд медалью «За заслуги перед НГАСУ (Сибстрин)» награждены:

- ген. директор СРО «Ассоциация профессиональных строителей Сибири» С.А. Бобков;
- зав. кафедрой ИСТ А.Ф. Задорожный;
- директор ИЦИТ Л.В. Ильина;
- ген. директор ООО ГК «Сибпродмонтаж» С.Д. Ковальский;
- директор АО «Искитимцемент» В.П. Скакун;

- директор ООО «ЛКЗКолорит» А.К. Туляганов.

Медаль «Попечителю НГАСУ (Сибстрин)» вручена:

- ген. директору АО «Бердский строительный трест» А.А. Воронину;
- ген. директору ГК «Сибпродмонтаж» С.Д. Ковальскому;
- директору ООО «Перспектив» В.Н. Монагарову;
- ген. директору СРО «Ассоциация профессиональных строителей Сибири» С.А. Бобкову;
- С.Н. Сёмке;
- директору МУП г. Новосибирск «ГОРВОДОКАНАЛ» Ю.Н. Похилу;
- руководителю Совета СРО АСОНО М.В. Федорченко.

Лучшие студенческие группы: 211, 316а, 481, 520 – были награждены путевками – «поездка на море» !

Торжественное собрание с поздравлениями и награждением завершилось гимном университета и феерической театрализованной концертной программой «Есть такая профессия – строить города!» [1].

Источник информации

1. Вести Сибстрина. Газета НГАСУ (Сибстрин) № 6 (222) Май 2025. Сайт НГАСУ (Сибстрин) [Электронный ресурс] URL: <https://www.sibstrin.ru/news/miscellaneous/10436/> (Дата обращения: 15.05.2025).



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твёрдого тела; 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.9. Строительная механика; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_2_83

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ» НА КАФЕДРЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ НГАСУ (СИБСТРИН)

© Авторы 2025

SPIN-код: 3568-2576

ГРЕБЕНЮК Григорий Иванович

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); Томский государственный архитектурно-строительный университет

(Россия, Новосибирск, e-mail: greb@sibstrin.ru)

SPIN-код: 5404-5102

ResearcherID: KAM-2991-2024

Scopus ID: 57200289320

ВЕШКИН Максим Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

(Россия, Новосибирск, e-mail: m.veshkin@sibstrin.ru)

Аннотация. Приведены исторические сведения о развитии направления научно-исследовательской деятельности «Расчёт сооружений» кафедры строительной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)». Описаны исследования, проводившиеся с середины 50-х годов XX века до настоящего времени. Приведена тематика научных исследований и составы научных коллективов. Отмечены научные достижения, сотрудников кафедры. Описана работа по организации семинаров и научных конференций, проводившихся кафедрой. Приведён краткий обзор итогов научной работы кафедры за прошедшие годы, обсуждаются актуальные проблемы и перспективы исследований.

Ключевые слова: строительная механика; теория упругости; динамика; надёжность; расчёт сооружений; ползучесть; нелинейность; оболочки; пластины; стержневые системы

Для цитирования: Гребенюк Г.И., Вешкин М.С. История развития направления научно-исследовательской деятельности «Расчёт сооружений» на кафедре строительной механики НГАСУ (Сибстрин) // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 83-91. doi 10.51608/26867818_2025_2_83

Review article

HISTORY OF DEVELOPMENT OF THE DIRECTION OF RESEARCH ACTIVITIES "CALCULATION OF STRUCTURES" AT THE DEPARTMENT OF STRUCTURAL MECHANICS OF NSUACE (SIBSTRIN)

© Авторы 2025

GREBENYUK Grigory Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Architectural and Construction University; Tomsk State Architectural and Construction University

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

VESHKIN Maksim Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics

Novosibirsk State Architectural and Construction University (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk, e-mail: m.veshkin@sibstrin.ru)



Abstract. The article provides historical information on the development of the research area “Calculation of Structures” of the Department of Structural Mechanics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, “Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)”. The article describes the research conducted from the mid-50s of the 20th century to the present day. The topics of scientific research and the composition of scientific teams are given. Scientific achievements of the department staff are noted. The work on organizing seminars and scientific conferences held by the department is described. A brief overview of the results of the department's scientific work over the past years is given, and current problems and research prospects are discussed.

Keywords: construction mechanics; elasticity theory; dynamics; reliability; structural analysis; creep; nonlinearity; shells; plates; rod systems

For citation: Grebenyuk G.I., Veshkin M.S. History of development of the direction of research activities “calculation of structures” at the department of structural mechanics of NSUACE (SIBSTRIN) // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 83-91. (InRuss.). doi 10.51608/26867818_2025_2_83

Определённый импульс развитию научной работы кафедры был дан в военные годы, в связи с работой на кафедре крупных учёных в области строительной механики В.З. Власова и Б.Г. Коренева, а также благодаря участию сотрудников в выполнении оборонных заказов. Начиная с середины 50-х годов и до настоящего времени, на кафедре проводятся достаточно обширные научные исследования в различных направлениях. За это время подготовлено более тридцати кандидатов наук. Десять сотрудников кафедры в разные годы стали докторами наук, причём четверо из них защитили диссертации, работая на кафедре.

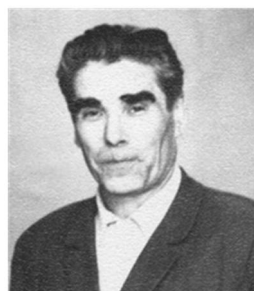


Б.Ф. Неустроев

Значительный вклад в организацию научных исследований на кафедре внёс к.т.н. доцент Б.Ф. Неустроев, который заведовал кафедрой с 1954 по 1963 гг. Основные результаты его научной работы относятся к развитию энергетического метода исследования устойчивости и колебаний стержневых систем, разработке приближённых способов определения

частот и форм колебаний, а также критических параметров нагружения при потере устойчивости. Под научным руководством Б.Ф. Неустроева на кафедре были подготовлены первые пять кандидатских диссертаций (Н.П. Абовский, И.К. Погадаев, Л.С. Ляхович, В.И. Роев, А.И. Зайденберг). Практически все его аспиранты стали известными специалистами в области строительной механики, руководителями научных школ и вузовских подразделений (Н.П. Абовский – д.т.н. профессор, академик МАН ВШ, завкафедрой строительной механики КрасГАСА; Л.С. Ляхович – д.т.н. профессор, академик РААСН, проректор по НИР Томского ГАСУ; И.К. Погадаев – д.т.н. профессор, В.И. Роев – профессор НГАСУ). В дальнейшем данное научное направление на кафедре было представлено в работах профессора В.И. Роева, посвящённых развитию приближённого метода расчёта строительных конструкций и радиотехнических устройств

на переменное во времени температурное поле, импульсные, гармонические возмущения и нагрузки, изменяющиеся во времени по произвольному закону [1]. Результатом работ в этом направлении явилось также создание исследовательского программно-математического комплекса «DINAM», структура которого совершенствуется и в настоящее время.



С. Ф. Соловых

Второе научное направление, интенсивно развиваемое на кафедре в 60-е годы в трудах к.т.н. доцента С.Ф. Соловых (заведующий кафедрой с 1963 по 1968 годы) и его учеников (А.А. Крамаренко, Г.Б. Лебедев), было посвящено исследованию напряжённого состояния в сыпучей

среде и определению давлений, оказываемых ею на ограждающую поверхность. В этих работах впервые были выявлены общие закономерности истечения сыпучего из силосов, объясняющие обнаруженные различными авторами в натурных экспериментах избыточные давления на стенки силосов. Были предложены меры, позволяющие избежать больших давлений на стенки силоса. Показана необходимость дальнейшего изучения кинематики движения сыпучего, в частности, при определении давлений сыпучей среды на подпорные стенки с учётом возможной подвижки подпорной стенки. Кроме идеальных сыпучих сред, исследовалось поведение пылевидных сыпучих сред, где основное внимание было уделено выявлению характера взаимодействия пылевидного сыпучего с воздухом и определению суммарных давлений на стенки силоса. В качестве перспективного направления исследований здесь можно отметить изучение напряжённого состояния такой среды в момент выпуска сыпучего из силоса с учётом аэрации воздухом.

С приходом на кафедру в 1965 г. доцента И.А. Чаплинского было организовано направление работ, связанное с развитием теории пластичности при больших деформациях и теории предельного равно-



И.А. Чаплинский

весия. В работах И.А. Чаплинского теория больших пластических деформаций была построена в координатах «интенсивность истинных напряжений – интенсивность логарифмических деформаций» на основе фундаментальных экспериментальных исследований законов пластичности при больших деформациях металлов. Дано практическое приложение теории больших пластических деформаций к расчёту кабелей в пучинистых грунтах при действии низких температур, с изобретением защиты от их повреждения. По результатам выполненных работ И.А. Чаплинским в 1968 г. была защищена докторская диссертация. Закономерности, установленные при больших пластических деформациях, были рассмотрены и при малых пластических деформациях. Из полученных в этом направлении результатов следует отметить критерий для оптимального выбора условия пластичности и закона упрочнения металлов в виде равномерного удлинения при разрыве, новую методику для определения предела текучести, получение общих уравнений пластичности металлов при больших деформациях.

фессор И.А. Чаплинский. Тематика исследований аспирантов была достаточно разнообразна и включала разработку методов расчёта конструкций (пластин, сферических и цилиндрических оболочек) на упругом основании в геометрически и физически нелинейных постановках (аспиранты Ю.И. Канышев, Г.И. Гребенюк, А.А. Кращук), расчёты пластин и арок по предельной несущей способности (аспиранты В.М. Клягин, В.И. Коробко, В.Г. Себешев, Г.И. Коротеев), исследование сопротивления пластмасс удару при нормальных и низких температурах (аспиранты Б.П. Русов, Е.К. Лебедева) и др. Следует особо отметить, что практически все аспирантские работы того времени включали экспериментальную часть, выполняемую в лабораториях кафедры с изготовлением силами кафедры и мастерских вуза образцов, моделей, необходимых установок и приспособлений.

Из основных научных результатов, полученных сотрудниками кафедры в тот период, отметим следующие. Получены решения задач расчёта сферических и цилиндрических оболочек на упругом основании в геометрически нелинейной постановке с использованием аналитических, вариационных и конечно-разностных методов. Полученные решения позволяли давать оценку устойчивости системы «оболочка-основание» «в большом» и хорошо согласовывались с результатами экспериментов. Раз-



Фото 1977 года. 1 ряд (слева направо): Паутов В.В., Кращук А.А., Кириченко Г.В., Чеснокова Т.М., Кон Ю.М.; **2 ряд:** Полиновская Л.Г., Албаут Г.Н., Татарова Л.И., Широких Л.А., Бирюлева Т.С., Чаплинский И.А., Гребенюк Г.И., Илизаров А.Г., Мысик В.Ф.; **3 ряд:** Воронкова Л.В., Коротеев Г.И., Русов Б.П., Григорьев О.Б., Соловых С.Ф., Роев В.И., Канышев Ю.И., Крамаренко А.А., Валиев Ф.С., Себешев В.Г.; **4 ряд:** Проценко В.М., Сорокин А.И., Игнатов В.Н., Обсоков И.Л., Соломченко Ю.И., Шутов В.А., Зайденберг Р.И., Лебедев Г.Б., Барышников В.Н.

В конце 60-х – начале 70-х годов в аспирантуру кафедры пришла целая группа молодых специалистов – выпускников НИСИ и НГУ, а также целевые аспиранты из других вузов Сибири и Дальнего Востока. Основную нагрузку по руководству аспирантурой в это время взял на себя завкафедрой, д.т.н. про-

работан новый метод оценки сопротивления жёстких пластмасс удару. Предложенная характеристика позволила с высокой достоверностью выполнять расчёты элементов конструкций на удар, что было использовано в дальнейшем при проведении расчётов балок и пластин.



В последующие годы исследования, связанные с развитием численного метода расчёта конструкций на упругом основании (в том числе многосвязных пластин сложного очертания и сложных пространственных тел), были продолжены в работах к.т.н. доцента А.А. Кращука.

В 70-е годы в работах аспирантов кафедры получены существенные результаты по оценке несущей способности круглых, кольцевых и полигональных пластин как постоянного, так и переменного сечения (аспиранты В.М. Клягин, В.И. Коробко, Г.И. Коротеев). При исследовании предельного равновесия арок (аспирант В.Г. Себешев) выявлено влияние на их несущую способность каждого из внутренних силовых факторов. Кроме того, были решены задачи оптимального проектирования арок минимального веса по методу предельного равновесия [2-3]. Позднее несущая способность нелинейно деформируемых арок исследована в работе аспиранта А.В. Мищенко [4].

ренко [6]) и одна докторская (Г.И. Гребенюк, 1990 г. [7]) диссертации.

Из основных результатов, полученных на кафедре в этом направлении, можно отметить разработку нового эффективного варианта методов модифицированных функций Лагранжа, названного «методом подвижного внешнего штрафа», построение основных итерационных схем конечномерной оптимизации конструкций, разработку нового подхода при декомпозиции исходных задач ОПК, основанного на использовании поэтапности и направленного обобщения переменных проектирования. Практическим приложением исследований явилось решение разнообразных прикладных задач оптимизации стержневых, пластинчатых, пластинчато-стержневых оболочечных и комбинированных систем при варьировании геометрических и жесткостных характеристик сечений элементов, геометрических и топологических параметров систем, параметров граничных условий и др. В это время были раз-



Фото 1985 года. 1 ряд (слева направо): Шершнева Р.М., Широких Л.А., Кириченко Г.В., Чаплинский И.А., Роев В.И., Албаут Г.Н., Зайденберг Р.И.; **2 ряд:** Григоренко В.В., Татарова Л.И., Шутов В.А., Русов Б.П., Кращук А.А., Коркина Н.Ф.; **3 ряд:** Медов П.И., Проценко В.М., Обсоков И.Л., Валиев Ф.С., Воронкова Л.В., Себешев В.Г.; **4 ряд:** Яньков Е.В., Мищенко А.В., Гребенюк Г.И., Чеснокова Т.М., Канышев Ю.И., Барышников В.Н.

Начало 80-х годов в нашей стране и за рубежом характеризовалось интенсивным развитием нового научного направления в МДТТ и строительной механике – оптимального проектирования конструкций (ОПК). В этот период на кафедре под руководством д.т.н. профессора И.А. Чаплинского и к.т.н., доцента Г.И. Гребенюка сформировалась группа исследователей, большинство из которых работает в данном направлении и по настоящее время. По результатам проведённых исследований были защищены шесть кандидатских (А.Г. Илизаров, В.В. Безделев, Б.Н. Попов, Т.Л. Дмитриева, Е.В. Яньков [5], И.В. Куче-

работаны программные комплексы для решения задач расчёта и оптимизации строительных конструкций (РИОСК, BMP, APPROX, ORAPS, OSTEN), часть из которых и в настоящее время используется при проведении проектно-исследовательских работ и в учебном процессе. Столь интенсивная работа в направлении разработки методов и алгоритмов оптимизации конструкции не могла не отразиться на научно организационной работе кафедры.

С 1991 по 2018 гг. во главе кафедры находился д.т.н., профессор Г.И. Гребенюк. В эти годы преподаватели вели интенсивную работу по углублению



Г. И. Гребенюк

научных исследований, расширению интеграционных связей с другими вузами и институтами СО РАН. Именно в это время, начиная с начала девяностых годов XX столетия на кафедре были организованы Всероссийские семинары, а позже Всероссийские конференции с общими названиями

«Проблемы оптимального проектирования сооружений». В период с 1990 по 2018 годы было организовано и проведено более двадцати всероссийских семинаров и конференций. В работе семинаров и конференций приняли участие представители различных регионов России результаты научной работы были представлены в сборниках научных трудов семинаров и конференций. Большинство изданий хранится в библиотеках НГАСУ(Сибстрин).

Начиная с середины 70-х годов, на кафедре под руководством Б.П. Русова проводились углублённые исследования в области механики реономных сред. С приходом на кафедру в качестве совместителя д.ф.-м.н., лауреата Государственной премии

научных исследований и получено два авторских свидетельства на изобретения.

Эффективной формой интеграции усилий научных коллективов учёных вузов и подразделений академии наук является создание филиалов кафедр в институтах СО РАН и привлечение к работе на кафедре по совместительству ведущих специалистов этих подразделений. Одним из наиболее активных участников этого процесса с середины 80-х годов является совместитель кафедры д.ф.-м.н., профессор, академик Академии транспорта Ю.В. Немировский (ИТПМ СО РАН).

В период 1996–2010 гг. под руководством профессора Ю.В. Немировского и при активном участии д.ф.-м.н. профессора И.Т. Вохмянина, к.т.н. доцента А.В. Мищенко на кафедре выполнен цикл исследований по проблемам оптимального проектирования слоистых композитных систем (балок, арок, рам) при статических и динамических нагрузках [8]. Исследования в этом направлении весьма перспективны, и полученные результаты свидетельствуют о возможности снижения веса и стоимости на 30–40% по сравнению с традиционными вариантами конструкций. Разработанный подход применён к задачам проектирования полиметаллических стержне-



Фото 2002 года. 1 ряд (слева направо): Кучеренко И.В., Кириченко Г.В., Роев В.И., Чаплинский И.А., Албаут Г.Н., Гребенюк Г.И., Русов Б.П., Григоренко В.В., Табанюхова М.В., Широких Л.А.; 2 ряд: Орлова В.В., Татарова Л.И., Кращук А.А., Крамаренко А.А., Себешев В.Г., Барышников В.Н., Марков А.Н., Лебедев Г.Б., Яньков Е.В., Васильев А.В.

РФСР в области науки и техники А.Ф. Никитенко (ИГиЛ СО РАН) диапазон исследований в этом направлении был существенно расширен. По результатам исследований была защищена докторская диссертация (Б.П Русов, 1996 г.). К основным достижениям, полученным на кафедре в этом направлении, следует отнести формулирование определяющих уравнений деформирования нестабильных сред, открытие эффекта перераспределения составляющей полной деформации и формулирование нового критерия длительной прочности кристаллических материалов. На основе полученных теоретических результатов разработаны новые методики расчёта конструкций при ползучести, даны практические рекомендации по проектированию высокоточ-

вых систем в условиях ползучести. При этом для заданного времени эксплуатации или разрушения конструкции определяется такое распределение материалов, которое обеспечивает максимальное снижение веса или стоимости конструкции. В 2015 году состоялась защита докторской диссертации А.В. Мищенко [9].

В рамках тематики госбюджетных НИР кафедры и при научном руководстве профессора Ю.В. Немировского выполнен также цикл исследований по определению рациональных схем армирования прямоугольных и кольцевых железобетонных плит. Показана возможность различных схем эффективного армирования для одинаковых конструкций и при одинаковых условиях закрепления и нагружения.



Исследования по тематике слоистых композитных систем активно продолжаются и в настоящее время профессором кафедры строительной механики, д.т.н. А.В. Мищенко [10–13]. За период 2012–2024 гг. направления исследований расширяются, охватывая различные вопросы, в том числе:

- несущей способности слоистых стержней и рам при многопараметрическом динамическом воздействии;

- особенностей упругопластического деформирования однородных и слоистых рационально профилированных балок при запроектных воздействиях;

- нелинейного термоупругого деформирования многофазных стержней;

- оптимизации структурно-неоднородных стержневых конструкций на основе энергетического критерия;

Исследования д.т.н., профессора Г.И. Гребенюка и к.т.н., доцента Е.В. Янькова в период 2011–2021 гг. посвящены расчёту и оптимизации конструкций в условиях продольно-поперечного изгиба [14]. Рассматривались задачи нелинейного расчёта и оптимизации мачтовых конструкций, усиленных растяжками. Кроме того, при участии аспиранта А.С. Волкова, рассмотрены вопросы аппроксимации зависимостей для параметров состояния периодически нагруженных стержневых систем в пространстве обобщённых переменных проектирования. При участии аспиранта А.А. Гаврилова рассмотрена постановка и решение задач оптимизации многопролётных тонкостенных балок различного профиля с использованием критерия максимального отклонения собственных частот от резонанса [15-16]. По результатам проведённых исследований была защищена кандидатская диссертация (А.А. Гаврилов [17]).

Совместные исследования д.т.н., профессора Ю.В. Немировского и аспиранта А.В. Ажермачева при участии д.т.н., профессора Г.И. Гребенюка в период 2004–2017 гг. посвящены оптимальному проектированию пространственных гибридных стержневых ферм, ребристых деревянных плит с учётом разномодульности и нелинейного сопротивления, деревянных ферменных конструкций с учётом неоднородности свойств материалов [18]. Рассматривались условия длительной эксплуатации деревянных конструкций. Предложено использование различных расчётных схем расчёта и оптимизации упругих сжато-изогнутых ребристых панелей. Разработана «балочная» расчётная модель ребристых плит с учётом физической нелинейности материалов, рассмотрены большепролётные ребристые плиты на основе древесины.

В период 2005–2011 гг. под руководством д.т.н., профессора А.Ф. Никитенко при участии к.т.н., доцента И.В. Кучеренко проводились исследования

по экспериментальному обоснованию обобщённого критерия прочности [19]. На основе данного критерия рассмотрены задачи предельного равновесия тел в случае плоского напряжённого состояния. Разработана методика расчёта по предельному равновесию элементов конструкций при неупругом деформировании, ползучести материала. Обсуждались вопросы прогнозирования разрушения элементов конструкций с цилиндрической анизотропией из структурно-неоднородных материалов. Проведено построение определяющих соотношений упругих многофазных сред, учитывающих структуру композита. Проанализировано влияние структуры и физических соотношений многофазной среды на механические характеристики композита.

В период 2012–2018 гг. проводились совместные исследования д.т.н., профессора В.В. Адищева, к.т.н., доцента И.В. Кучеренко и аспиранта М.С. Тетериной [20]. Выполнен цикл исследований напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных материалов с учётом высокой степени неопределённости свойств материалов. Рассмотрено использование аналитического и численного подходов.

В 2010–2023 гг. годы проводились исследования, посвящённые динамически нагруженным системам.

Соискателем М.С. Вешкиным под руководством профессора Г.И. Гребенюка выполнены исследования по оптимизации систем, испытывающих действие импульсных нагрузок [21–27]. С целью получения инструментария для дальнейших исследований были значительно расширены возможности программного комплекса «DINAM» стержневых систем при импульсных и периодических импульсных воздействиях. Проанализировано рациональное распределение дополнительных узловых масс и жесткостей элементов системы, позволяющее снизить динамические отклики системы на импульсные воздействия. Разработаны приёмы декомпозиции задачи оптимизации упругих стержневых систем при импульсном нагружении и выполнена оценка их эффективности. Рассмотрено применение комплексной модели внутреннего трения в расчётах на динамические воздействия. Выполнено сравнение непрерывного и дискретного подходов к расчёту и оптимизации стержневых систем при импульсном воздействии. По результатам исследований в 2024 году состоялась защита кандидатской диссертации (М.С. Вешкин [28]).

Аспирантом Ю.А. Гербером под руководством профессора В.Г. Себешева проведены исследования в области регулирования напряжённо-деформированного состояния систем с динамическими гасителями колебаний (ДГК), а также исследования надёжности систем при наличии ДГК [29–32]. Рассмотрены



задачи регулирования динамическими гасителями колебаний напряженно-деформированного состояния и надёжности систем с сосредоточенными массами при гармонических воздействиях Разработана методика расчётов надёжности стержневых конструкций с динамическими гасителями колебаний с учётом сильной нелинейности амплитудно-частотных характеристик в областях сгущения спектра собственных частот. Предложена методика оценки надёжности и долговечности по условию усталостной прочности стержневых систем с динамическим гасителем колебаний при гармонических воздействиях. По результатам исследований в 2024 году состоялась защита кандидатской диссертации (Ю.А. Гербер [33]).

Говоря о перспективах развития данного направления на кафедре, отметим, в этом направлении предполагается расширять диапазон исследований нелинейных задач механики разрушения, с широким привлечением к этим работам аспирантов и магистрантов кафедры.

В настоящее время ведутся исследования в области рационального проектирования структурно-неоднородных плоских и пространственных систем с использованием новых подходов и принципов [34–36] (д.т.н., доцент А.В. Мищенко, к.т.н. М.С. Вешкин, асп. Ф.С. Волков). Продолжается научная работа в направлении оптимизации и регулирования динамически нагруженных систем с помощью динамических гасителей колебаний [37] (к.т.н., профессор В.Г. Себешев, к.т.н. Ю.А. Гербер, асп. Н.А. Люфт). Ведутся исследования систем, испытывающих периодические импульсные воздействия (д.н.н., профессор Г.И. Гребенюк, к.т.н. М.С. Вешкин).

Направления научной деятельности кафедры непрерывно развиваются, совершенствуются и наполняются новыми современными научными задачами. В числе перспективных направлений отметим: исследования нелинейных задач механики разрушения; развитие теории и практики расчёта и оптимального проектирования неоднородных конструкций при динамических воздействиях; многокритериальную оптимизацию конструкций с учётом энергетических критериев в сочетании критериями прочности, жёсткости и устойчивости. По всем указанным направлениям планируется активное привлечение магистрантов и аспирантов кафедры.

Библиографический список

1. Гребенюк, Г. И. Методика построения дискретного решения для вынужденных колебаний диссипативных систем / Г. И. Гребенюк, В. И. Роев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2006. – № 2(566). – С. 94-100. – EDN HVLMDGR.
2. Себешев, В. Г. Предельное равновесие круговой двухшарнирной арки / В. Г. Себешев // Известия высших

учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1972. – № 1. – С. 35-41. – EDN VMPJGB.

3. Себешев, В. Г. Исследование предельного равновесия арок: специальность 05.23.17 «Строительная механика»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Себешев Владимир Григорьевич. – Новосибирск, 1975. – 189 с. – EDN TGQKX.

4. Себешев, В. Г. Несущая способность упругопластических арок с учетом конечных перемещений / В. Г. Себешев, А. В. Мищенко // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 23-28. – EDN TFYCNL.

5. Яньков, Е. В. Оптимизация стержневых систем с варьированием граничных условий: специальность 05.23.17 «Строительная механика»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Яньков Евгений Васильевич. – Новосибирск, 2000. – 200 с. – EDN NLRPUD.

6. Кучеренко, И. В. Оптимизация стержневых конструкций с учетом особенностей работы узлов и соединений : специальность 05.23.17 «Строительная механика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кучеренко Ирина Валерьевна. – Новосибирск, 2003. – 119 с. – EDN NMDHROB.

7. Гребенюк, Г. И. Построение эффективных итерационных процессов параметрической оптимизации упругих конструкций : специальность 05.23.17 «Строительная механика» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гребенюк Григорий Иванович. – Новосибирск, 1990. – 414 с. – EDN KZGENM.

8. Мищенко, А. В. Оптимальное проектирование равнопрочных слоистых балок и рам / А. В. Мищенко, Ю. В. Немировский // Проблемы оптимального проектирования сооружений : Доклады Всероссийского семинара, Новосибирск, 02–05 апреля 1997 года. Том 2. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 1997. – С. 27-33. – EDN VTCR XR.

9. Мищенко, А. В. Методы решения прямых и обратных задач расчета композитных профилированных стержневых систем : специальность 05.23.17 «Строительная механика» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Мищенко Андрей Викторович. – Новосибирск, 2015. – 22 с. – EDN ZPRAMZ.

10. Мищенко, А. В. Моделирование двумерных температурных полей в структурно-неоднородных стержнях с разрывными геометрическими параметрами / А. В. Мищенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 1(709). – С. 5-15. – EDN YWNCVY.

11. Мищенко, А. В. Стационарное температурное поле в многослойных стержнях с разрывами ширины сечения / А. В. Мищенко // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 1(124). – С. 12-21. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.1.12-21. – EDN YWGLMD.

12. Немировский, Ю. В. Прогнозирование времени безопасной эксплуатации металлических конструкций в условиях ползучести / Ю. В. Немировский, А. В. Мищенко, А. Н. Марков // Современные проблемы механики и прикладной математики : Материалы школы-семинара, посвященной 70-летию профессора Д.Д. Ивлева, Воронеж,



25–30 сентября 2000 года. Том Часть 2. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2000. – С. 330-339. – EDN GDUNBR.

13. Мищенко, А. В. Оптимизация структурно-неоднородных стержневых конструкций на основе энергетического критерия / А. В. Мищенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 6(750). – С. 20-32. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-750-6-20-32. – EDN YRLKDI.

14. Гребенюк, Г. И. Расчет и оптимизация колонн ступенчатой жесткости в условиях продольно-поперечного изгиба / Г. И. Гребенюк, В. И. Максак, Е. В. Яньков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 5. – С. 111-121. – DOI 10.31675/1607-1859-2020-22-5-111-121. – EDN UXUZVR.

15. Гребенюк, Г. И. Постановка и решение задач оптимизации многопролетных тонкостенных балок различного профиля / Г. И. Гребенюк, Е. В. Яньков, А. А. Гаврилов // Актуальные вопросы строительства : Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, посвященные 85-летию со дня образования НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск, 07–09 апреля 2015 года / – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2015. – С. 18-24. – EDN UNLOWJ.

16. Free vibrations of thin-walled box-section bars allowing for shear strains / A. Gavrilov, N. Morozov, A. Grehov, G. Grebenyuk // International Journal of Engineering and Technology(UAE). – 2018. – Vol. 7, No. 2. – P. 7-12. – DOI 10.14419/ijet.v7i2.13.11570. – EDN XYCRBJ.

17. Гаврилов, А. А. Расчет и оптимизация тонкостенных многопролетных балок с учетом вторичных сдвигов и при ограничениях по прочности и частотам собственных колебаний : специальность 05.23.17 «Строительная механика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гаврилов Александр Александрович. – Новосибирск, 2015. – 120 с. – EDN UCSCMB.

18. Немировский, Ю. В. Синтез гибридных ферменных конструкций / Ю. В. Немировский, А. В. Ажержаев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 1(673). – С. 94-107. – EDN TNVTVL.

19. Кучеренко, И. В. Обобщенный критерий прочности и его использование в расчетной практике / И. В. Кучеренко, А. Ф. Никитенко // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4-5. – С. 2295-2296. – EDN RUFKRZ.

20. Kucherenko, I. V. Calculation of the load-bearing capacity of the brickwork fragment with uncertainty high degree in the materials properties / I. V. Kucherenko, V. V. Adishchev, M. S. Teterina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Novosibirsk, 01–08 июля 2018 года. Vol. 456. – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012115. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012115. – EDN IVYHAN.

21. Stress-strain state analysis and optimization of rod system under periodic pulse load / G. Grebenyuk, M. Veshkin, O. Nosireva, V. Maksak // MATEC Web of Conferences, Tomsk, 25–27 октября 2017 года. Vol. 143. – Tomsk: EDP Sciences, 2018. – P. 01003. – DOI 10.1051/mateconf/201714301003. – EDN XXUSOT.

22. Гребенюк, Г. И. Расчет упругих стержневых систем на динамические воздействия с использованием модели «комплексной жесткости» для внутреннего трения в материалах / Г. И. Гребенюк, М. С. Вешкин // Известия выс-

ших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 5(737). – С. 18-30. – DOI 10.32683/0536-1052-2020-737-5-18-30. – EDN SRIJVR.

23. Гребенюк, Г. И. Алгоритмы численного динамического расчета стержневых систем при импульсном нагружении / Г. И. Гребенюк, В. И. Роев, М. С. Вешкин // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 1999. – Т. 2, № 2. – С. 28-37. – EDN RYLUUM.

24. Исследование изгибных колебаний стальной балки при действии импульсных нагрузок сообщение 1 / Г. И. Гребенюк, В. И. Роев, Е. В. Яньков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 10(610). – С. 3-11. – EDN PFAOBT.

25. Гребенюк, Г. И. Разработка алгоритмов численного расчета и оптимизации стержневых систем при действии импульсных нагрузок / Г. И. Гребенюк, М. С. Вешкин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4(45). – С. 106-116. – EDN SJSRIT.

26. Гребенюк, Г. И. Оптимизация стержневых систем при действии импульсных нагрузок / Г. И. Гребенюк, В. И. Роев, М. С. Вешкин // Проблемы оптимального проектирования сооружений : доклады IV-го Всероссийского семинара, Новосибирск, 03–05 апреля 2002 года / Министерство образования Российской Федерации, Новосибирский государственный архитектурно-строительный ун-т, Сибирское отделение российской академии архитектуры и строительных наук; ответственный за выпуск: Г. И. Гребенюк. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2002. – С. 108-118. – EDN TWETFF.

27. Вешкин, М. С. Об использовании комплексной модели внутреннего трения в расчетах стержневых систем на импульсные воздействия / М. С. Вешкин, Г. И. Гребенюк // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 5(725). – С. 5-17. – EDN JDRXJD.

28. Вешкин, М. С. Расчет и оптимизация упругих стержневых систем при импульсном нагружении: специальность 05.23.00 «Строительство и архитектура»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вешкин Максим Сергеевич. – Томск, 2023. – 123 с. – EDN NBHCJL.

29. Gerber, Yu. A. Regulation of dynamic stress-strain state and reliability of deformable systems with vibration dampers under harmonic loads / Yu. A. Gerber, V. G. Sebeshev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures, Ekaterinburg, 21–22 мая 2019 года / Ural Federal University. Vol. 972. – Ekaterinburg: IOP, 2020. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/972/1/012013. – EDN UYRSZR.

30. Gerber, Y. A. Probabilistic analysis and reliability evaluation of the harmonically loaded rod systems with dynamic vibration dampers, based on the use of modern software complexes / Y. A. Gerber, M. N. Danilov, V. G. Sebeshev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Novosibirsk, 01–08 июля 2018 года. Vol. 456. – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012042. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012042. – EDN KIQNIX.

31. Гербер, Ю. А. Особенности расчета надежности динамически нагруженных систем с учетом эффекта



нелинейности амплитудно-частотных характеристик в резонансных зонах / Ю. А. Гербер, В. Г. Себешев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 5(701). – С. 5-16. – EDN WNSPXQ.

32. Себешев, В. Г. Регулирование динамическими гасителями колебаний напряженно-деформированного состояния и надежности систем с сосредоточенными массами при гармонических воздействиях / В. Г. Себешев, Ю. А. Гербер // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 9(729). – С. 5-18. – DOI 10.32683/0536-1052-2019-729-9-5-18. – EDN VIJVVY.

33. Гербер, Ю. А. Надежность линейно деформируемых стержневых систем с динамическими гасителями колебаний : специальность 05.23.17 «Строительная механика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гербер Юрий Андреевич. – Новосибирск, 2022. – 178 с. – EDN LGPLEU.

34. Rational design of nonlinear-deformable structurally heterogeneous elements of structures / A. V. Mishchenko, M. S. Veshkin, V. L. Mondrus, L. Yu. Stupishin // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20, No. 3. – P. 97-115. – DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-3-97-115. – EDN HNQFQI.

35. Мищенко, А. В. Формулировка критерия минимума энергии деформации в физически нелинейных задачах деформирования неоднородных стержней / А. В. Мищенко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 214-223. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-6-214-223. – EDN WIGGXU.

36. Мищенко, А. В. Оптимизация параметров предварительного напряжения в слоисто-неоднородных стержнях / А. В. Мищенко, М. С. Вешкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 1(793). – С. 5-17. – DOI 10.32683/0536-1052-2025-793-1-5-17. – EDN XXARXM.

37. Гербер, Ю. А. Решение в форме классического метода перемещений задачи регулирования группами динамических гасителей колебаний параметров состояния стержневых систем при гармонических воздействиях / Ю. А. Гербер, В. Г. Себешев, Н. А. Люфт // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 6(786). – С. 5-17. – DOI 10.32683/0536-1052-2024-786-6-5-17. – EDN RNDWOR.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_92

**НАУЧНАЯ ШКОЛА «ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ» ФГБОУ ВО «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» «СИБСТРИН»**

© Автор, 2025

SPIN: 4265-7935

ИЛЬИНА Лилия Владимировна

доктор технических наук, профессор

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет «Сибстрин»*

(Россия, Новосибирск, e-mail: nsklika@mail.ru)

Аннотация. Представлена история научной школы «Теория и технология композиционных материалов на основе техногенного сырья» Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) как одного из лидеров в подготовке научных кадров и развитии строительной науки в области строительных материалов в Сибирском регионе.

Ключевые слова: Сибстрин; композиционные материалы; техногенное сырье; строительные материалы; научная школа; строительная наука

Для цитирования: Ильина Л.В. Научная школа «Теория и технология композиционных материалов на основе техногенного сырья» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» «Сибстрин» // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 92-95. doi 10.51608/26867818_2025_2_92

Review article

**SCIENTIFIC SCHOOL "THEORY AND TECHNOLOGY OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON TECHNOGENIC
RAW MATERIALS" NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING (SIBSTRIN)**

© The Author(s) 2025

ILYINA Lilia Vladimirovna

doctor of technical sciences, professor

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk)*

Abstract. The history of the scientific school "Theory and technology of composite materials based on technogenic raw materials" of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) is presented. as one of the leaders in the training of scientific personnel and the development of construction science in the field of building materials in the Siberian region.

Keywords: Sibstrin; composite materials; man-made raw materials; construction materials; scientific school; construction science

For citation: Grebenyuk G.I., Veshkin M.S. Scientific school "Theory and technology of composite materials based on technogenic raw materials" Novosibirsk state university of architecture and civil engineering (SIBSTRIN) // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 92-95. (In Russ.). doi 10.51608/26867818_2025_2_92

История научной школы. Одной из первых в структуре Сибирского строительного института (Сибстрин) в 1933 году была организована кафедра «Строительные материалы». В это же время была сформирована научная школа, которую возглавил д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, член-корреспондент Академии строительства и архитектуры СССР, кавалер ордена Ленина Михайлов Михаил Николаевич (руководил школой до 1959 года).



Рис. 1. Михайлов Михаил Николаевич

Вместе с М.Н. Михайловым большой вклад в развитие потенциала научной школы внесла Галина Ивановна Книгина, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР; награждена орденом В.И. Ленина. Книгина Г.И. с 1959 по 1986 год заведовала кафедрой, руководила научной школой. Она организовала «Проблемную научно-исследовательскую лабораторию», работа которой была направлена на решение практических задач.



Рис. 2. Книгина Галина Ивановна

С 1986 научной школой руководили:

- 1986-1988 гг. - доцент, кандидат технических наук Тацки Людмила Николаевна;
- 1988-1992 гг. - профессор, доктор технических наук Козлова Валентина Кузьминична;
- 1992-1999 гг. - профессор, доктор технических наук Белан Василий Иванович

В 1971 году из кафедры СМСТ выделилась специализированная кафедра «Полимерные и теплоизоляционные материалы» (ПТМ) во главе с Хру-

левым Валентином Михайловичем (д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик жилищно-коммунальной Академии).

Хрулев В.М. основал научную школу «Теория и технология композиционных материалов», в которой в период 1971-1998 гг было подготовлено 33 кандидата и 4 доктора технических наук. В 1998 году произошло слияние кафедры СМСТ и ПТМ и слияние научных школ.



Рис. 3. Хрулев Валентин Михайлович

Далее научную школу возглавляли: с 1999 по 2001 гг. профессор, кандидат технических наук Мартынов Константин Яковлевич; с 2001-2015 гг. - Бердов Геннадий Ильич. Геннадий Ильич - доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, кавалер ордена «Знак Почета», награжден двумя медалями. Автор более 300 опубликованных работ, пяти монографий (в соавторстве), 26 изобретений.



Рис. 4. Бердов Геннадий Ильич



2015 – по настоящее время - научной школой руководит д-р техн. наук, профессор, советник РААСН Ильина Лилия Владимировна, автор более 250 опубликованных работ. Ею подготовлены 6 кандидатов технических наук. Ильина Л.В. является председателем диссертационного совета по присуждению ученых степеней по научной специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.



Рис. 5. Ильина Лилия Владимировна

На протяжении многих лет вклад в развитие научной школы внесли профессора И.А. Иванов, Л.Н. Тацки, Э.А. Кучерова, В.И. Белан, В.Ф. Завадский, Н.А. Машкин, А.Т. Пименов и многие другие.

В рамках научной школы ведутся научные исследования по следующим научным тематикам:

1. повышение эксплуатационных характеристик искусственных каменных материалов на основе неорганических вяжущих веществ;

2. повышение активности минеральных вяжущих веществ, увеличение их потенциальных возможностей;

3. высокофункциональные бетоны (модификация бетонов микро- и ультрадисперсными добавками);

4. эффективные стеновые материалы на основе неорганических вяжущих веществ;

5. исследование слоистых систем, образованных минеральными слоями;

6. использование отходов металлургического производства для получения строительных материалов различного назначения;

7. керамические строительные материалы на основе глинистых пород Сибирского региона;

8. повышение долговечности строительных материалов и изделий;

9. композиционные материалы с наномодифицированными межфазовыми поверхностями;

10. эффективные строительные материалы с использованием техногенных продуктов и отходов

энергетического, горнодобывающего и горноперерабатывающего комплексов.

Научная школа «Теория и технология композиционных материалов на основе техногенного сырья» развивается в соответствии со стратегией научно-технологического развития РФ, национальных проектов «Жилье и городская среда» и «Инфраструктура для жизни». При этом, согласно стратегии научно-технологического развития (далее СНТР) Российской Федерации, реакцией на один из больших вызовов (исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов (п. 15б СНТР)) должно стать (пункт 18 СНТР) своевременное создание наукоемких технологий и продукции, отвечающих в первую очередь национальным интересам Российской Федерации и необходимых для существенного повышения качества жизни населения. Согласно СНТР приоритетом является (пункт 21а СНТР) переход к передовым технологиям создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении новых материалов.

Для решения приоритетных задач строительного материаловедения научная школа (НШ) предлагает научные разработки (см. таблицу).

Научные разработки для решения приоритетных задач строительного материаловедения

№ п/п	Приоритетные направления в строительном материаловедении	Научные разработки НШ по приоритетным направлениям
1	Получение новых материалов с использованием нанотехнологий	НШ активно работает по получению новых материалов с использованием нанотехнологий: <ul style="list-style-type: none"> искусственные каменные материалы на основе цементов (все виды бетонов, включая тяжелые, ячеистые и бетоны на легких пористых заполнителях) смеси сухие строительные лакокрасочные материалы керамические материалы
2	Новые высокопрочные строительные композиции	НШ ведет НИР по повышению прочности: <ul style="list-style-type: none"> искусственных каменных материалов на основе цементов (все виды бетонов, включая тяжелые, ячеистые и бетоны на легких пористых заполнителях) керамических материалов
3	Новые легкие бетоны	НШ ведет НИР по снижению средней плотности и теплопроводности стеновых материалов: <ul style="list-style-type: none"> искусственных каменных материалов на основе цементов (ячеистые бетоны и легкие бетоны на легких пористых заполнителях)



№ п/п	Приоритетные направления в строительном материаловедении	Научные разработки НШ по приоритетным направлениям
		<ul style="list-style-type: none"> • керамических материалов
4	Новые долговечные бетоны	НШ ведет НИР по повышению морозостойкости и долговечности цементных композитов
5	Новые фибробетоны	НШ ведет НИР по повышению эксплуатационных характеристик цементных систем путем дисперсного армирования (введения различной фибры)
6	Снижение энергоемкости производства строительных материалов	НШ ведет НИР по получению: <ul style="list-style-type: none"> • самоуплотняющегося бетона (не требующего механического уплотнения) • быстротвердеющего бетона (не требующего тепловлажностной обработки)
7	Экологические переработка и утилизация отходов	НШ ведет НИР по: <ul style="list-style-type: none"> • рециклингу бетона и железобетона, • утилизации золы • утилизации отходов горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности
8	Переработка и вторичное использование строительных конструкций, из-	НШ ведет НИР по рециклингу бетона и железобетона и разработке предложений повторного использования материалов после рециклинга

№ п/п	Приоритетные направления в строительном материаловедении	Научные разработки НШ по приоритетным направлениям
	делий и материалов, получаемых в результате разборки и реконструкции зданий	
9	Аддитивные технологии в строительстве	НШ ведет НИР по разработке цементных смесей для 3-D печати
10	Ресурсоэкономизация и импортозамещение в строительном материаловедении	НШ ведет НИР по: <ul style="list-style-type: none"> • снижению ресурсоемкости строительных материалов • использованию местных сырьевых материалов

В рамках научной школы организованы студенческие научно-исследовательские лаборатории, творческие мастерские, проблемные исследовательские группы, инновационные коллективы.

Научная школа «Теория и технология композиционных материалов на основе техногенного сырья» на сегодняшний день является одним из лидеров в подготовке научных кадров и развитии строительной науки в области строительных материалов в Сибирском регионе. За время существования научной школы подготовлено свыше 140 кандидатов технических наук и 15 докторов технических наук.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 17.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_96

СИБИРСКАЯ ШКОЛА ДИНАМИКИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

© Автор, 2025

AuthorID: 977829

ЛИНОВСКИЙ Станислав Викторович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск)

Аннотация. Представлена история Сибирской научной школы отечественного фундаментостроения успешно развивающейся на базе кафедры Инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

Ключевые слова: Сибстрин; сложные грунтовые основания; научная школа; динамика оснований и фундаментов; строительные конструкции; фундаментостроение

Для цитирования: Линовский С.В. Сибирская школа динамики оснований и фундаментов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 96-101. doi 10.51608/26867818_2025_2_96

Review article

SIBERIAN SCHOOL OF FOUNDATIONS DYNAMICS

© The Author(s) 2025

LINOVSKY Stanislav Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)

Abstract. The article presents the history of the Siberian Scientific School of Russian Foundation Engineering, which is successfully developing on the basis of the Department of Engineering Geology, Foundations and Foundations of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin).

Keywords: Sibstrin; complex soil foundations; scientific school; dynamics of foundations and foundations; building structures; foundation engineering

For citation: Linovsky S.V. Siberian school of foundations dynamics // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 96-101. (In Russ.). doi 10.51608/26867818_2025_2_96

Прежде чем говорить о рождении и развитии научно-прикладного направления «Динамика оснований и фундаментов» в Сибстрине-НИСИ-НГАСУ (Сибстрин) и Сибирском регионе в целом, необходимо сказать хотя бы кратко о становлении геотехнической составляющей научно-образовательной среды вуза.

Как известно, Сибирский строительный институт (Сибстрин) был образован в мае 1930 года на базе специальностей гражданского, промышленного и коммунального строительства строительного

факультета Сибирского технологического института им. Ф.Э. Дзержинского г. Томска (СТИ), ранее (до 1925 года) называвшегося Томский технологический институт (ТТИ). С началом занятий в новом вузе в г. Томске и тем более после перемещения его на постоянную базу в г. Новосибирск (в 1933 году) начинается формирование собственных факультетов, кафедр и лабораторий. И хотя кафедра геотехнической направленности была образована не сразу, в институте силами немногочисленных ученых-педагогов активно разрабатывалась, создавалась и культиви-



ровалась группа дисциплин и научных научно-практических интересов, которые сегодня можно отнести к области «Механика грунтов, основания и фундаменты». Среди этих энтузиастов были профессора, перешедшие из инженерно-строительного факультета СТИ, а также некоторые из преподавателей, влившиеся в коллектив сибстриновцев несколько позже. Именно они заложили основы сильных научно-педагогических школ, на десятилетия вперед определивших успешное развитие первого строительного вуза Сибири.

Особое место в плеяде первопроходцев занимают профессора Евдокимов-Рокотовский М.И. (1887–1967) и Силенко А.В. (1884–1965). Недолго проработал в Сибстрине (всего 4 года) Михаил Ильич Евдокимов-Рокотовский, но он оказал большое влияние на развитие направления «Основания и фундаменты», связанного с изучением проектированием и строительством зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях.



Михаил Ильич Евдокимов-Рокотовский

Родился Михаил Ильич в семье действительного статского советника, начальника почтово-телеграфного ведомства Томской губернии. В 1910 году окончил Томский технологический институт, а в 1919 году – юридический факультет Петроградского университета. До 1920 г. работал на строительстве и восстановлении железных дорог на различных должностях. Затем переехал в Сибирь на должность профессора сначала Томского технологического института, а потом Сибирского строительного института. С августа 1934 года долгие годы работал профессором Горьковского инженерно-строительного института (ГИСИ) и заведующим кафедрой оснований и фундаментов, где создал крупную лабораторию геологии, гидрогеологии и исследования грунтов. Научно-исследовательские интересы М.И. Евдо-

кимова-Рокотовского были связаны со строительством и эксплуатацией железнодорожных туннелей, инженерных сооружений на вечной мерзлоте, на пльвунах, с расчетами давления горных пород, изучением динамических явлений в туннелях и окружающих их грунтах. Последнее наиболее полно попадает в тематику нашего повествования (динамика оснований и фундаментов).

И, всё-таки, наиболее заметный след в создании и развитие кафедры ИГОФ в первые десятилетия существования нашего вуза внес профессор Александр Васильевич Силенко.



Александр Васильевич Силенко

Интересно, что биографии А.В. Силенко и М.И. Евдокимова-Рокотовского отчасти пересекаются. Правда, Александр Васильевич родился на Украине, но в раннем детстве оказался в Сибири. Поступил в Томский технологический институт годом раньше М.И. Евдокимова-Рокотовского, в 1904 году, но из-за революционных событий завершил образование позже. Работая на строительстве моста через р. Иркут в 1905–1906 годах, Александр Васильевич на деле познал, что такое сложные инженерно-геологические условия, приобрел опыт строительства свайных оснований и первые знания в сфере механики вообще и механики грунтов и фундаментостроения, в частности. Изучение этих областей науки продолжилось в институте, который ему удалось окончить лишь в 1913 году.

В годы Первой мировой войны, революций и Гражданской войны был инженером-строителем военных переправ и мостов на германском фронте. Послевоенная работа А.В. Силенко была связана с водным, а затем железнодорожным транспортом. За 10 лет он прошел путь от помощника начальника участка до начальника строительного отдела управ-



ления внутренних водных путей Сибири, непосредственно участвовал в строительстве и проектировании сложных речных и железнодорожных объектов.

Уже в это время по совместительству стал ассистентом кафедры геодезии Сибирского института инженеров транспорта в Томске, а позднее перешел на штатную должность доцента кафедры оснований и фундаментов Сибирского института инженеров коммунального строительства, который в 1933 году вошел в Сибирский строительный институт.

Таким образом, Александр Васильевич вместе с Сибстрином оказался в Новосибирске, а в 1934 году выступил в качестве непосредственного организатора кафедры «Основания и фундаменты» и был ее заведующим до 1965 года, т.е. до конца своей жизни. Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент академии строительства и архитектуры СССР А.В. Силенко внес неоценимый вклад в развитие геотехнического направления, явился основателем Сибирской школы отечественного фундаментостроения, подготовил множество ученых и педагогов, знания от него получили тысячи выпускников Сибстрина. В течение многих лет он был руководителем секции оснований и фундаментов Новосибирского НТО стройиндустрии, членом Ученого Совета НИСИ им. В.В.Куйбышева, членом редколлегии журнала "Известия вузов. Строительство и архитектура". Профессор А.В. Силенко был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Первые профессора-геотехники Сибстрина М.И. Евдокимов-Рокотовский и А.В. Силенко много сделали для изучения поведения фундаментов в сложных грунтах, разработки методик расчёта и технологии строительства фундаментов в разнообразных и специфических грунтовых условиях. Под руководством А.В. Силенко на кафедре ИГОФ было под-

готовлено шесть кандидатов технических наук, трое из которых в последствии стали докторами технических наук. В результате активной научно-исследовательской деятельности на кафедре зародились, а позднее сформировались и оформились несколько научных направлений (как сейчас принято говорить – научных школ). Одна из них – Сибирская школа динамики оснований и фундаментов.

Родоначальником и создателем её стал Михаил Иванович Забылин (1930-1992). Михаил Иванович родился в Черепановском районе Новосибирской области в крестьянской семье. В послевоенные годы начинал работу учеником мастера, старшим мастером и десятником на стройках г. Новосибирска. В 1957 году окончил с отличием НИСИ им. В.В. Куйбышева по специальности «Строительство речных гидротехнических сооружений и электростанций» с правом ведения общестроительных работ.



Михаил Иванович Забылин



Общий вид главного учебного корпуса Сибстрина в 1934 году
(год создания кафедры «Основания и фундаменты»)



В институте Михаил Иванович проработал (с небольшим перерывом) с 1957 по 1992 год на должностях ассистента, старшего преподавателя, доцента и профессора, с 1974 по 1983 год руководил кафедрой ИГОФ. Читал лекции по курсу "Механика грунтов, основания и фундаменты" и спецкурсу "Динамика оснований и фундаментов", руководил научно-исследовательской работой аспирантов и студентов, дипломным и курсовым проектированием. С 1984 по 1989 г. работал деканом в Новосибирском филиале Всесоюзного института повышения квалификации руководящих работников Минэнерго (НФ ВИПКЭнерго).

Начало научной деятельности М.И. Забылина относится к моменту поступления его в аспирантуру кафедры ИГОФ в 1963 году. Этот факт можно считать началом зарождения научно-практического направления динамики фундаментов и грунтовых оснований в Сибстрине и Сибирском регионе, так как Михаил Иванович и его научный руководитель Александр Васильевич Силенко определили темой научного исследования начинающего ученого экспериментальную проверку теоретических методов определения параметров колебаний фундаментов под компрессоры. После двух лет обучения в аспирантуре М.И. Забылин досрочно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1985 году – диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему "Волновые процессы в динамической системе фундамент - основание".



М.И. Забылин (третий слева) среди участников VI Всесоюзной конференции по динамике оснований и фундаментов, г. Нарва, Эстонская ССР, 1985 год

Тема поведения фундаментов и оснований, испытывающих динамические нагрузки со стороны машины многообразна, сложна и не локализуется только в системе «машина-фундамент-основание». За счет возникновения упругих волн в теле фундамента и грунте, колебания могут распространяться на значительные расстояния и оказывать негативное влияние на человека, обслуживающего машину (оператора) или находящегося поблизости, на машины, оборудование, приборы, выполняющие высокоточные работы (прецизионное оборудование) или отличающиеся повышенной чувствительностью к вибрации, на фундаменты и строительные конструкции здания (сооружения), в котором располагается машина с динамической нагрузкой, а также приводить к «виброзагрязнению» окружающей среды. Основоположником отечественной школы динамики оснований и фундаментов является Д.Д. Баркан (1904-1987) – доктор технических наук, специалист в области строительной механики и физики, разработчик вибромолота и сейсмостойких фундаментов, автор ряда строительных нормативов СССР (в частности, первые в стране «Технические условия проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками» (ТУ-60-49)). В 1948 году он издал монографию «Динамика оснований и фундаментов», которая на долгое время стала настольной книгой «динамиков», занимающихся как теоретическими вопросами, так и практикой устройства фундаментов под машины. М.И. Забылин стал достойным продолжателем направления «Динамика оснований и фундаментов» в Сибирском регионе, образовал здесь научную среду и создал научную школу.

Доктор технических наук, профессор М.И. Забылин – автор более двухсот печатных работ, в том числе монографий, учебных пособий и изобретений. Участвовал в работе VIII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению, выступал с докладами на Международной конференции по строительным конструкциям в Алма-Ате и на более чем 25 Всесоюзных конференциях в городах Москве, Ленинграде, Нарве, Кемерово, Уфе, Фрунзе, Барнауле, Ташкенте, Тбилиси, Днепропетровске и др. Более десяти лет Михаил Иванович являлся заместителем главного редактора всесоюзного журнала «Известия вузов. Строительство и архитектура».

Им подготовлено 6 кандидатов технических наук. Тематика научных работ учеников М.И. Забылина была посвящена вопросам изучения особенностей поведения фундаментов и грунтов при воздействии динамических различных видов усилий. Об этом свидетельствуют темы защищённых ими кандидатских диссертаций:

- Игольников Владимир Васильевич «Экспериментальные исследования волновых полей в грунтах от фундаментов под машины с динамическими



Участники VII Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений, г. Днепропетровск, Украинская ССР, 1989 год

нагрузками и предложения по их прогнозированию» (1977);

- Раинчик Анатолий Павлович «Исследование напряженного состояния фундаментов, нагруженных ударом» (1980);

- Мойсейчик Екатерина Клеониковна «Исследование динамических характеристик грунтов ультразвуковым методом для проектирования фундаментов под машины» (1980);

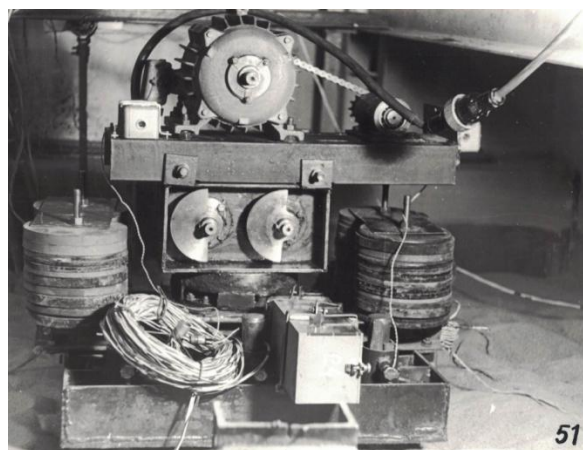
- Тырышкин Михаил Петрович «Экспериментальное обоснование параметров волновой модели основания для проектирования фундаментов под машины» (1992);

- Линовский Станислав Викторович «Колебания свай и свайных фундаментов при горизонтальных динамических нагрузках» (1993);

- Нуждин Леонид Викторович «Колебания свайных фундаментов-приемников от кинематического возбуждения» (1993).

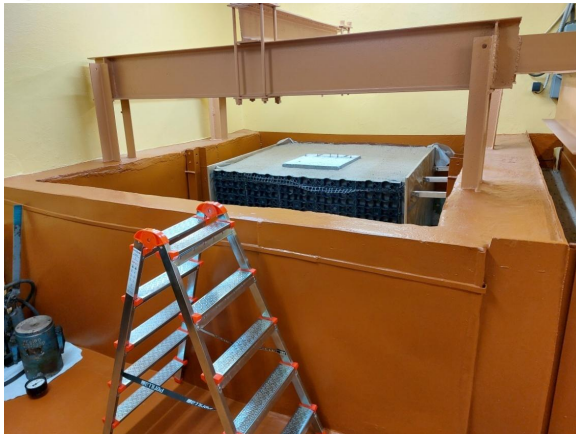
Результаты исследований, выполняемых под руководством М.И. Забылина, внедрены на 50 крупных предприятиях страны. Его консультации были использованы при возведении и реконструкции большого количества зданий и сооружений, крупных промышленных предприятий Новосибирска, Новокузнецка Кемерово, Барнаула, Челябинска, Красноярска, Курска и других городов. Он являлся экспер-

том и консультантом по строительству и эксплуатации многих энергетических сооружений (ТЭЦ, ГРЭС) Сибирского региона.



Лабораторная виброиспытательная установка в составе модели свайного фундамента (лаборатория кафедры ИГОФ, 1989 год)

И хотя Михаил Иванович относительно рано ушел из жизни, запас прочности научной школы динамики оснований и фундаментов, созданный его усилиями, оказался достаточным, и это направление получило продолжение и успешно развивается на кафедре ИГОФ сегодня благодаря деятельности его



Большой грунтовый лоток в лаборатории «Динамика оснований и фундаментов» кафедры ИГОФ, 2024 год

непосредственных учеников и новых поколений исследователей. Это, прежде всего, кандидат технических наук, профессор Леонид Викторович Нуждин, являвшийся руководителем аспирантов, успешно защитивших в этом направлении диссертации на соиска-

ние ученой степени кандидата технических наук: Колесников Алексей Олегович (тема диссертации «Совершенствование метода расчета колебаний свайного фундамента с учетом взаимодействия ростверка с грунтом», 2005 год), Скворцов Егор Петрович (тема диссертации «Влияние контурного армирования грунтового основания на снижение колебаний фундаментов с динамическими нагрузками», 2006 год).

В настоящее время на кафедре активно ведутся научно-исследовательские работы по тематике динамики оснований и фундаментов силами аспирантов под руководством сотрудников кафедры профессора Нуждина Л.В. и доцента Колесникова А.О., а также студенческие (прежде всего, магистерские) исследования при научном руководстве ряда педагогов кафедры ИГОФ. Есть надежда, и даже уверенность, что научное направление динамики оснований и фундаментов на кафедре и в вузе будет и дальше развиваться и укрепляться, а значит – Сибирская научная школа динамики оснований и фундаментов будет жить.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 17.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Обзорная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_2_102

НАУЧНАЯ ШКОЛА ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ В СИБСТРИНЕ

© Автор, 2025

SPIN: 1654-0074

МОЛОДИН Владимир Викторович

доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск, e-mail: molodin@sibstrin.ru)

Аннотация. Представлена история научной школы зимнего бетонирования, возникшей и успешно развивающейся в течение более 90 лет на кафедре строительного дела – технологии строительного производства – технологии и организации строительства Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

Ключевые слова: Сибстрин; зимнее бетонирование; научная школа; технология зимнего бетонирования; строительные конструкции; электротеплообогрев бетонной смеси; строительная механика

Для цитирования: Молодин В.В. Научная школа зимнего бетонирования в Сибстрине // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 102-110. doi 10.51608/26867818_2025_2_102

Review article

SIBSTRIN SCIENCE SCHOOL OF WINTER CONCRETING

© The Author(s) 2025

MOLODIN Vladimir Victorovich

doctor of technical sciences, professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

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

Abstract. The article presents the history of the scientific school of winter concreting, which arose and has been successfully developing for more than 90 years at the Department of Construction Engineering – Technology of Construction Production – Technology and Organization of Construction of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin).

Keywords: Sibstrin; winter concreting; scientific school; winter concreting technology; building structures; electric heating of concrete mix; construction mechanics

For citation: Molodin V.V. Sibstrin science school of winter concreting // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 102-110. (In Russ.). doi 10.51608/26867818_2025_2_102

Формирование научной школы. Разрушая в победной эйфории устои Российской Империи, рабоче-крестьянское правительство обрушило и систему образование в стране. Преимущества получения высшего образования были предоставлены не имеющим качественного базового образования рабочим и крестьянам, что не преминуло сказаться на уровне подготовки нового инженерного корпуса.

Однако задачи индустриализации страны, поставленные XIV съездом ВКП(б), требовали квалифицированного инженерного персонала, и к 1930 году

стало ясно, что необходимо вернуться к прежней, годами проверенной системе подготовки инженеров. По инициативе председателя Высшего совета народного хозяйства СССР В.В. Куйбышева в стране открывается сеть отраслевых ВУЗов для подготовки остро необходимых экономике инженеров высшей квалификации.

23 июня 1930 года, постановлением Совнаркома СССР, на базе Инженерно-строительного факультета Сибирского технологического института (бывшего Томского технологического института) был



Кабинет кафедры строительного дела, 1945 год. Крайние справа: стоит доцент А.А. Пичулин, сидит П.К. Соколов

сформирован Сибирский строительный институт (СибСтрИн) с размещением его в столице Сибирского края – быстрорастущем Новосибирске. Перед новым ВУЗом ставилась задача подготовки квалифицированных строительных инженеров для Сибири и Дальнего Востока- районов, где зима продолжается не меньше 7 месяцев в году.

С 1 сентября 1930 года в новом ВУЗе начали создаваться первые кафедры, одной из которых стала кафедра строительного дела. Преподавателями кафедры на всех отделениях института велись занятия по широкому кругу дисциплин, связанных с непосредственным выполнением работ на строительных площадках. Особое внимание уделялось актуальному для региона вопросу- производству работ в условиях отрицательных температур.

Сотрудники кафедры помимо занятий со студентами были включены в реальную производственную деятельность. Сибирский край активно развивался. На стройках непрерывно возникали технические проблемы, для решения которых привлекались преподаватели Сибстрина. Особенно много проблем возникало с началом зимнего периода. Сотрудники кафедры по крупицам собирали информацию о производстве строительных работ в условиях отрицательных температур, обобщали их и комплектовали в Рекомендации, которые широко распространялись в виде брошюр по всему региону.

Решения на вопросы, по которым не находилось ответа, приходилось искать самостоятельно. Так, по рассказам старейшего сотрудника кафедры доцента Г. А. Парамонова, в зиму 1932 года при бетонировании фундаментов промышленного здания в Кузнецке был в опытном порядке определён коэффициент теплопоглощения мёрзлого грунта, который вводили в предложенную Б. Г. Скрамтаевым формулу теплового баланса. Таким образом спасали бетон в подошве фундамента от замораживания.

В феврале 1932 года на XVII всесоюзной конференции ВКП(б) была принята директива о переходе в строительстве от сезонности к круглогодичному производству. В этом же году вводятся в действие «Технические условия на производство бетонных и железобетонных работ в зимнее время», в которые вошли наработки ученых и практиков Сибирского края.

Первые пятилетки в Сибири ознаменовались бурным строительством новых городов и промышленных гигантов. На строительных площадках совершенствовались зимние строительные технологии. Регулярной практикой стали проводимые в Сибстрии слёты стахановцев, обмена опытом, где ученые и линейные инженеры оттачивали способы и приёмы производства строительных работ.

Этот опыт пригодился, когда осенью 1941 года началась эвакуация в Сибирь заводов и населе-



ния из европейской части страны. В суровых условиях сибирской зимы спешно строились корпуса заводов и временное жильё. В зиму пришлось бетонировать каркасные конструкции, чего избегали в мирное время. Спешно осваивали метод электропрогрева – новинку того времени. Экспериментальное бетонирование велось прямо на строительных площадках. Практически все преподаватели кафедры строительного дела и студенты работали на стройках, а по вечерам занимались в плохо приспособленных бараках, вместо занятых под военное производство корпусов института.

Во время войны был накоплен огромный опыт зимнего бетонирования строительных конструкций. Дефицит материалов и энергии вынудил найти новые подходы, приучил, обходясь минимумом, обеспечивать необходимые сроки и качество. Такой подход обеспечил дальнейшее эффективное развитие зимних технологий.

Предварительный электроразогрев бетонной смеси. В 1962 году, выпускником Сибстрина Александром Сергеевичем Арбеньевым, работавшим мастером на строительстве в Киселёвске Кемеровской области, был предложен новый метод зимнего бетонирования с электроразогревом смеси непосредственно перед укладкой в опалубку. Александр Сергеевич вспоминал: «Холода стояли лютые. Бетонную смесь везли на стройплощадку в самосвалах за 15 километров. На бетонном узле её готовили на горячей воде и подогретых заполнителях. Всё равно привозили чуть тёплую и укладывали в густо армированную холодной арматурой, промёрзшую опалубку из сырых досок. Конечно, смесь еще больше остывала, отдавая тепло опалубке, арматуре и мёрзлomu основанию. Безусловно, за счет экзотермии цемента температура твердеющего бетона несколько поднималась. Но, этого было явно недостаточно. Бетон еле-еле набирал критическую прочность и замерзал до весны. Нагружать его было опасно.

Было очевидно, что в твердеющей конструкции недостаточно тепла. Вспомнилось, как в общежитии института холодной военной зимой студенты кипятили чай. В стакан с водой опускали два лезвия бритвы и подключали к ним ток. Через три минуты вода закипала. Сделали это на стройке. «Чуть живую» бетонную смесь загрузили в 200-литровую бочку. Через доску пробили арматурный стержень и опустили его в смесь, в центре бочки. Затем, подключили к бочке и стержню кабель от сети 380 вольт и включили рубильник. Через 15 минут смесь запарилась, а затем закипела. Горячую смесь выгрузили в опалубку и провибрировали. Когда через 3 суток опалубку сняли, все фундаменты стояли зелёные и только один сиял белизной и звенел под ударом молотка. Так родилась новая технология».



Арбеньев Александр Сергеевич



Соколов Пётр Константинович

В том же году этот метод [1-2] был опробован на строительстве Западно-Сибирского металлургического завода и показал отличные результаты. Сначала способ рассматривался как расширение «метода термоса». Однако, глубокое изучение физико-химических процессов, происходящих в твердеющем бетоне, очень скоро выделило его в самостоятельный метод зимнего бетонирования. Его высокая эффективность была подтверждена участниками



ряда научно-практических конференций сначала в Кузбассе и других регионах Сибири, а затем и по всему Советскому Союзу. В 1967 году Госстрой СССР включил метод в план новой техники, а в 1970 году в Строительные нормы и правила. Патенты на зимнее бетонирование с предварительным электроразогревом получены А. С. Арбеневым в США, ФРГ, Великобритании, Франции, Италии и всех странах Скандинавии.



Устройства для предварительного электроразогрева бетонной смеси, разработанные под руководством А.С. Арбенёва. 1965 – 1967 гг.

Особенности технологии А.С. Арбенев исследовал сначала в Западно-Сибирском филиале Академии строительства и архитектуры СССР, а затем на кафедре технологии строительного производства в НИСИ им. В.В. Куйбышева (Сибстрине), где в 1978 году, обобщив многолетнюю практику и собственные теоретические разработки, защитил докторскую диссертацию «Теория и технология бетонирования изделий и конструкций с электроразогревом смеси». В этом капитальном научном труде, опираясь на теорию интегрального теплового баланса и основываясь на полученных знаниях о процессах гидратации и структурообразования бетона, была всесторонне обоснована но-

вая технология, главное достоинство которой заключалось в том, что она позволяла укладывать бетон при температуре воздуха ниже -20°C . Что было невозможно при других методах бетонирования.



Лысов Виктор Петрович



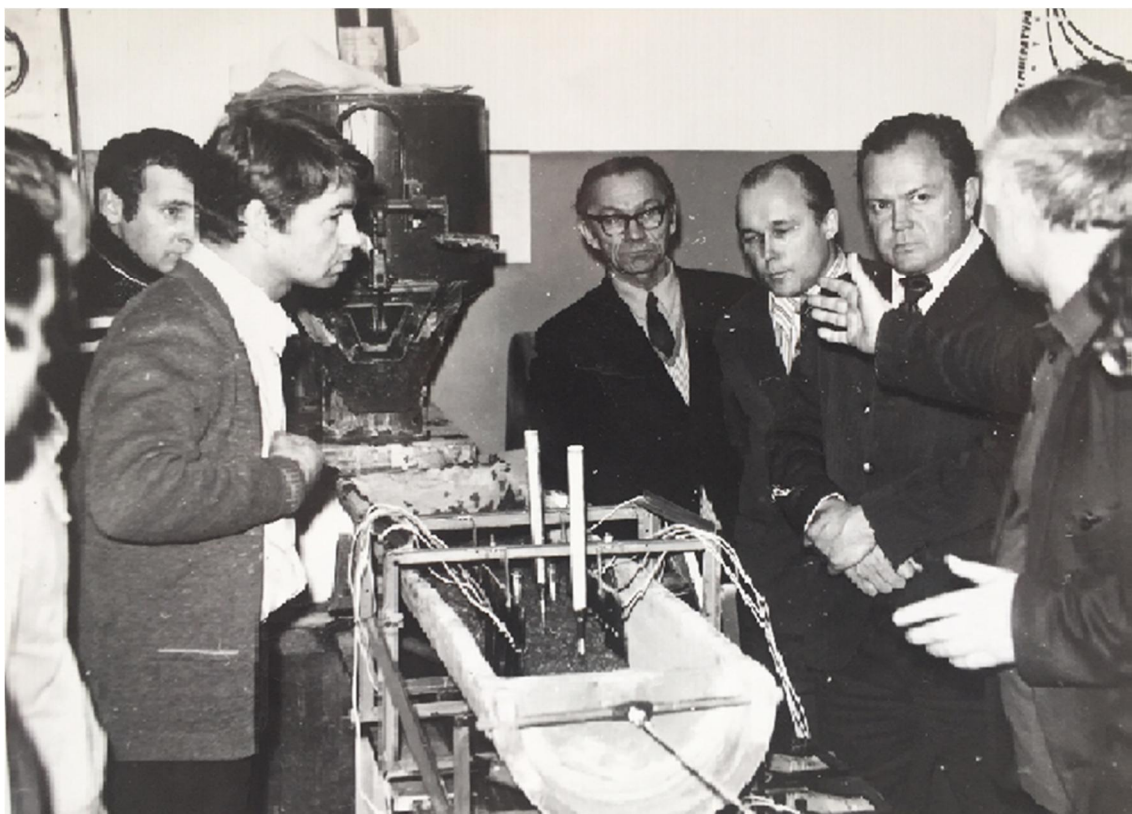
Гныря Алексей Игнатьевич

С возвращением в Сибстрин у Александра Сергеевича начинается новый, научно-педагогический этап. В этот период вокруг него консолидируется новосибирская школа зимнего бетонирования. На кафедре появляются новые аспиранты: будущие доктора технических наук Виктор Петрович Лысов,



Алексей Игнатьевич Гныря, Владимир Викторович Молодин, Михаил Михайлович Титов, а также ставшие впоследствии кандидатами технических наук Пётр Константинович Соколов, Михаил Михайлович Масленников, Надежда Павловна Феськова, Алексей Петрович Шешуков, Александр Васильевич Злодеев, Повел Николаевич Бондаренко. Частными вопросами зимнего бетонирования в этот период занимаются уже защитивший кандидатскую диссертацию по эффективному использованию экзотермии цемента Пётр Константинович Соколов, Валерий Лео-

висимости от физических и климатических факторов окружающей среды и конструктивно-технологических параметров, обеспечивающих снижение трудозатрат и стоимости работ, стала докторская диссертация А.И. Гныри «Теплозащита бетона монолитных конструкций в зимнее время», защищённая в 1992 году. Впоследствии эта тема стала основой научной школы зимних строительных работ в Томском инженерно-строительном институте, где успешно продолжают работы над совершенствованием технологий бетонирования в холодную погоду [5-6].



Посещение лаборатории кафедры технологии строительного производства членами техсовета «Сибкадемстрой». Слева аспиранты кафедры Злодеев А.В. и Бондаренко П. Н., справа в центре Начальник управления строительством «Сибкадемстрой» Лыков Г. Д., 1978 год

нидович Баборыкин, Николай Афанасьевич Гуненко, Борис Львович Аронов.

Первой крупной работой в направлении совершенствования метода электроразогрева стала докторская диссертация В.П. Лысова «Формирование ресурсосберегающих технологических процессов возведения конструкций из монолитного бетона», защищённая в 1984 году. Прораб, а затем главный инженер треста «Кузнецкметаллургстрой» сосредоточил своё внимание на производственных аспектах технологии, что позволило существенно расширить область её применения [3-4].

Результатом широкомасштабных исследований технологии тепло- и влагозащиты бетона монолитных конструкций, остывания и его прочности в за-

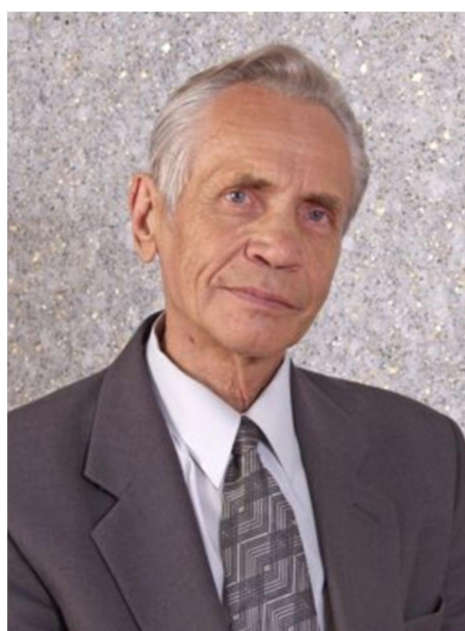
Расширение задач научной школы. Интересы кафедры в вопросах зимнего бетонирования не замыкаются только на каркасных и среднемаассивных конструкциях, характерных для гражданского строительства. Сложным вопросом является бетонирование массивных конструкций. При бетонировании Саяно-Шушенской плотины перегрев бетона за счет экзотермии в центре крупных блоков при низких отрицательных температурах снаружи приводил к его растрескиванию. Эти проблемы были решены ставшим в 1987 году заведующим кафедрой действительным членом Жилищно-коммунальной академии РФ, членом Международного союза лабораторий RILEM **Виктором Ивановичем Зубковым** и группой аспирантов, **будущих кандидатов наук, Мирзоевым М.**



Д., Квашниным А. Г., Доленко П. Д., Черным Ю. Г., гражданином САР Мазеном Хербеком. В 1986 году Виктор Иванович защищает докторскую диссертацию «Зимнее бетонирование гидротехнических сооружений с оптимизацией энергозатрат», в которой для решения теплотехнических задач в бетонных конструкциях, твердеющих на морозе, применил более точные решения с помощью линейных дифференциальных уравнений [7-8]. Однако, слабость вычислительных мощностей того времени не позволила в полной мере реализовать задуманное. Переход к критериальным уравнениям с реализацией их путём номографирования явились логичным выходом. Не очень удачным, но решившим назревшую проблему.



Зубков Виктор Иванович



Попов Юрий Андреевич

С развитием вычислительной техники, появлением новых и совершенных методов математического моделирования появились возможности решения систем линейных дифференциальных уравнений, описывающих сложные тепловые процессы, происходящие в твердеющем бетоне. Это направление возглавил доктор техн. наук Юрий Андреевич Попов [9-10], руководивший кафедрой с 1998 года. Известный специалист в области математического моделирования, вместе с группой молодых ученых, впоследствии защитивших кандидатские диссертации, в составе Андриевского С. Н., Богатырёвой (Завалишиной) Т.В., Шпанко С.Н., Лунёва Ю.В., используя краевую задачу, разработал методику прогнозирования температурных полей и полей прочности в бетонных конструкциях любой конфигурации, подвергающихся термообработке, в процессе твердения в условиях отрицательных температур.

Модернизация технологии бетонных работ широким внедрением автобетоносмесителей и бетононасосов потребовала пересмотра технологии предварительного электроразогрева. Исследование причин неравномерности нагрева бетонной смеси при её разогреве и разработкой на этой основе эффективных разогревающих устройств, в том числе при непрерывной подаче смеси, осуществил заведующий кафедрой технологии строительного производства в 2009–2015 годах Михаил Михайлович Титов [11-12]. В 2012 году он подготовил и защитил докторскую диссертацию «Развитие научных основ совершенствования процесса электроразогрева бетонной смеси в технологии зимнего бетонирования». Надёжными помощниками, ставшими впоследствии кандидатами наук, стали Южаков И. В., гражданин Монголии Э. Дугурсурэн, магистр строительства Ануфриев М. О.



Титов Михаил Михайлович



Молодин Владимир Викторович

Вопросы рачительного использования электроэнергии всегда остро стояли на строительных площадках. Особенно зимой, при бетонировании каркасных конструкций. Вступив в XXI век, строители



Блок управления термообработкой, моделирующий режимы выдерживания бетона, в процессе подготовки и на строительной площадке, 2010 год.

по-прежнему регулировали подачу энергии в твердеющий бетон вручную. Это приводило к существенному перерасходу энергии или опасности недобором прочности. Работая директором строительной компании, Владимир Викторович Молодин сталкивался с этой проблемой каждую зиму. Поиски решения привели его к управлению режимами термообработки бетона с помощью математического моделирования, используя известный приём системотехники - алгоритмические диспетчеры [13-14]. Результатом этой работы стала защита в 2012 году докторской диссертации «Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с управлением термообработкой бетона путём моделирования температурных режимов».



Чиркунов Юрий Александрович

Моделирование температурных полей и полей прочности решением нелинейных дифференциальных уравнений позволили достаточно точно предсказывать твердение бетона на морозе и управлять им. При этом разработанные методы математического моделирования и особенно схемы численной аппроксимации многомерных дифференциальных уравнений, с помощью которых решаются поставленные задачи, заведомо сложны для неподготовленного линейного инженера. Упрощение процесса моделирования использованием нелинейных дифференциальных уравнений [15-16] предложил заведующий кафедрой высшей математики НГАСУ (Сибстрин) доктор физико-математических наук Юрий Александрович Чиркунов. Подмодели, выведенные методом группового анализа как производные от основного дифференциального уравнения теплопроводности, просты в использовании и уже при первых проверках в лаборатории и на стройпло-



щадках показали впечатляющие результаты. Сегодня аспиранты и магистранты Попова М. С., Волков Н. С. и Агемян А.Г. под руководством профессоров Чиркунова Ю. А. и Молодина В.В. развивают перспективное направление.

Результаты исследований в области зимнего бетонирования с успехом используются в смежных областях. Так, форсированный электроразогрев бетонной смеси успешно используется для восстановления железобетонных конструкций, пострадавших от воздействия агрессивных сред эксплуатации. Используя эффект термодиффузии цементного молока вглубь разрушенного бетона под влиянием температурного градиента, возникающего при форсированном разогреве, удалось частично восстановить пострадавший от коррозии поверхностный слой бетона и тем самым существенно улучшить сцепление ремонтного бетона с поврежденным [17-18]. Под руководством профессора Молодина В.В. аспиранты и магистранты Нижегородова А. И., Глотова А.В. и магистр строительства Ануфриева А.Е. отработывают технологию и готовят диссертации.

* * *

Сибстрину 95 лет. Университет прошел славный путь от факультета, переехавшего из Томска в Новосибирск, до самостоятельного, успешно развивающегося ВУЗа. В эти годы университет не только подготовил тысячи специалистов для строительной отрасли, но и сформировался как уважаемый научный центр в разных направлениях строительной деятельности. Примером может служить научная школа зимнего бетонирования, возникшая и успешно развивающаяся в течение более 90 лет на кафедре строительного дела – технологии строительного производства – технологии и организации строительства.

Возникшая в 30-е годы прошлого века, как агрегатор производственного опыта зимних строительных работ, школа, отвечая на проблемы, встающие перед строительной отраслью, постепенно перешла к собственным исследованиям, сразу же передавая полученные результаты потребителям – строительным организациям, выполняющим бетонные работы в условиях отрицательных температур. С годами были внимательно изучены все аспекты зимнего бетонирования. Исследовательский процесс не останавливался ни на минуту, даже в трудные военные годы. Преемственность руководства от учителей к ученикам оставалась основополагающим принципом успешности школы. Это обеспечивало её высокую востребованность в строительном комплексе. Руководители и сотрудники успешно справлялись с задачами, которые непрерывно ставила жизнь, и одновременно становились признанными специалистами.

За время существования школой зимнего бетонирования Сибстрина в разные годы подготовлены 5 докторов наук, более 20 кандидатов наук, сотни студентов и магистрантов ВУЗа прошли углублённое обучение по дисциплинам, напрямую связанным с зимним бетонированием. Все они работают в строительных и проектных организациях главным образом в Сибири и Забайкалье, где полученные знания очень востребованы.

Жизнь каждый день ставит перед нами новые проблемы. Опыт и знания, накопленные за годы существования научной школы помогают их успешно решать. Подрастает новое поколение исследователей. Радует, что их число растёт год от года. И это вселяет надежду и даёт новые силы.

Библиографический список

1. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 168173, МКП В28 С. Способ бетонирования монолитной конструкции / А.С. Арбеньев. – № 790582/29-14; заявл. 08.08.1962; опубл. 05.11.1965. Бюл. № 3.
2. Арбеньев А.С. Зимнее бетонирование с электроразогревом смеси // Промышленное строительство. - 1962. № 9. С27-29.
3. Арбеньев А.С., Лысов В.П. Определение времени остывания бетона при зимнем бетонировании // Бетон и железобетон. – 1971. № 6. С 6–8.
4. Лысов В. П. Эффективность бетонных работ в строительстве. - Минск.: Беларусь. 1982. 90 с.
5. Гныря А.И. Внешний тепло и массообмен при бетонировании с электроразогревом смеси. - Томск: Изд-во Томского университета. 1977. 173 с.
6. Гныря А.И., Злодеев А.В., Рачковский Ю.П., Шешуков А.П.. Остывание и набор прочности бетона из разогретой смеси. - Томск: Изд-во Томского университета. 1985. 232 с.
7. Зубков В.И., Мирзаев М.Д., Зинченко Н.А. Укладка бетона в открытые блоки зимой на опытном полигоне Саяно-Шушенской ГЭС // Энергетическое строительство. 1981. №6. С. 38-41.
8. Зубков, В.И. Зимнее бетонирование гидротехнических сооружений Учеб. пособие / В. И. Зубков - Новосибирск: НИСИ, 1988. - 86 с.
9. Попов Ю. А. Математическое моделирование динамики температурного и прочностного полей при дифференцированном прогреве бетона в строительных конструкциях призматической формы / Ю. А. Попов, Ю. В. Лунев, О. А. Шалгунова // Изв. вузов. Стр.-во. – 2005. – № 4. – С. 73–78.
10. Попов Ю. А. Нетрадиционный подход к решению традиционных задач энергосбережения в строительстве / Ю. А. Попов // Изв. вузов. Стр.-во. – 2005. – № 4. – С. 64–73.
11. Титов М. М. Технология предварительного электроразогрева бетонной смеси с использованием современного оборудования // Изв. Вузов. Строительство. - 2009. - № 3–4.- С. 56–62.
12. Титов М. М. Методика электротехнического расчета устройств для технологии электроразогрева бетонной смеси // Вестник ТГАСУ. – 2009. - № 4. – С. 152–161.



13. Молодин, В. В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях: монография / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 300 с.
14. Молодин, В. В. Управляемый температурный режим тепловой обработки бетона при зимнем бетонировании элементов монолитного каркаса жилых и гражданских зданий / В. В. Молодин, С. Н. Андриевский, Ю. В. Лунев // Изв. вузов. Стр.-во. – 2007. – № 7. – С. 55–64.
15. V Molodin, Yu Chirkunov, A Lazarev*, K Gorshkova, and P Gulenkova. Calculation of the temperature fields spread at subzero temperature in a monolithic beam. *Journal of Physics: Conference Series*. 2131 (2021) 052065. DOI:10.1088/1742-6596/2131/5/052065.
16. Чиркунов Ю.А., Чиркунов М.Ю., Молодин В.В., Лapidус А.А., Топчий Д.В. Нелинейные модели для описания тепловых процессов при зимнем бетонировании колонн // *Известия вузов. Строительство*. 2023. № 11. С. 82–92. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-779-11-82-92.
17. Молодин В.В., Новиков Д. С. Особенности деградации железобетонных конструкций, подвергшихся хлоридной агрессии // *Строительное производство* – 2022. №4 – С. 121–126. DOI:10.54950/26585340_2022_4_121.
18. Молодин В.В., Нижегородова А. И., Ануфриева А.Е. Влияние карбонизации на структуру цементного камня и восстановление железобетонных конструкций. // *Приволжский научный журнал*. 2024. №4. С. 131–137.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Обзорная статья

УДК 535.551 + 69

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твёрдого тела; 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.9. Строительная механика; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_2_111

ЛАБОРАТОРИЯ ФОТОУПРУГОСТИ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ НГАСУ (СИБСТРИН)

© Авторы 2025

SPIN-код: 3860-6234

Researcher ID: KAM-7089-2024

Scopus ID: 55497993900

ТАБАНЫУХОВА Марина Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

(Россия, Новосибирск, e-mail: m.tabanyukhova@sibstrin.ru)

SPIN-код: 1888-0347

ХАРИНОВА Наталья Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

(Россия, Новосибирск, e-mail: n.kharinova@sibstrin.ru)

Аннотация. Приведена хронологическая последовательность развития лаборатории фотоупругости кафедры строительной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)». Описаны исследования, выполненные на базе лаборатории за время её существования. Дан краткий обзор международной деятельности сотрудников лаборатории фотоупругости.

Ключевые слова: фотоупругость; поляризационно-оптический метод; механика разрушения; концентрация напряжений; нелинейная фотоупругость; пьезооптические материалы

Для цитирования: Табаныухова М.В., Харина Н.В. Лаборатория фотоупругости кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин) // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 111-117. doi 10.51608/26867818_2025_2_111

Review article

LABORATORY OF PHOTOELASTICITY OF THE DEPARTMENT OF STRUCTURAL MECHANICS OF NSUACE (SIBSTRIN)

© Authors 2025

TABANYUKHOVA Marina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Structural Mechanics

Novosibirsk State Architectural and Construction University (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: m.tabanyukhova@sibstrin.ru)

KHARINOVA Natalia Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Structural Mechanics

Novosibirsk State Architectural and Construction University (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: n.kharinova@sibstrin.ru)

Abstract. The chronological sequence of development of the laboratory of photoelasticity at the department of structural mechanics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)" was given. The investigations carried out at the laboratory during its existence were described. A brief overview of the international activities of the photoelasticity laboratory staff was given.



Keywords: photoelasticity, polarization-optical method; fracture mechanics; stress concentration; nonlinear photoelasticity; piezo-optical materials

For citation: Tabanuykhova M.V., Kharinova N.V. Laboratory of photoelasticity of the department of structural mechanics of NSACU (Sibstrin) // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 111-117. (In Russ.). doi 10.51608/26867818_2025_2_111

Основателем новосибирской школы фотоупругости является Авраам Яковлевич Александров (27.04.1915 – 18.09.1983). Он родился 27 апреля 1915 года в городе Житомире, в 1939 году окончил Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта. С 1941 года трудился на военных заводах города Новосибирска. А с 1946 года и до конца жизни работал в Сибирском научно-исследовательском институте авиации, был начальником группы, заместителем начальника лаборатории, начальником сектора, старшим научным сотрудником. В 1948 году защитил докторскую диссертацию. Одновременно Авраам Яковлевич преподавал в Новосибирском институте военных инженеров железнодорожного транспорта (НИВИТ), который в 1953 году был преобразован в Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТ), а ныне называется Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС). С приходом А. Я. Александрова в вуз началось активное развитие экспериментальной базы кафедры строительной механики, были организованы несколько лабораторий, в том числе и лаборатория фотоупругости (1949 г.). Этому предшествовала публикация монографии М. Фрохта «Фотоупругость» в 1947 году [1], именно она послужила толчком для учёных НИВИТа к созданию своей лаборатории. Профессор А. Я. Александров предложил принципиально новую схему поляризационно-оптического метода, которая впоследствии получила название метода фотоупругих покрытий. Первые результаты в этом направлении были получены в середине 1950-х годов благодаря появлению материалов на основе эпоксидных смол. Метод фотоупругих покрытий оказался столь перспективен, что более десяти сотрудников вуза, участвовавших в развитии этого направления, защитили кандидатские диссертации, а трое – докторские. Итогом многолетней работы стала коллективная монография «Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела», в написании которой принимали участие представители научной школы фотоупругости: М. Х. Ахметзянов, Л. А. Краснов, С. П. Васильев, В. А. Кушнеров, Ф. Ф. Плешаков, Г. Н. Албаут, В. Н. Барышников и др. [2]. В рамках этого направления позднее стали развиваться и другие оптические методы исследования деформаций на поверхности элементов конструкций, основанные на использовании лазеров.

С 1948 года и до самой смерти Авраам Яковлевич заведовал кафедрой строительной механики. В 1955 - 1957 годах был деканом строительного фа-

культета. А. Я. Александровым опубликовано более 200 научных работ. Под его руководством подготовлены восемь докторских и 28 кандидатских диссертаций.

В 1964 году А. Я. Александров был удостоен премии имени Б. Г. Галеркина, которая вручается раз в три года за выдающиеся достижения в области механики. Работы А. Я. Александрова были известны не только в пределах СССР, тогда же он получил приглашение в США, выступить с докладом на Интернациональном конгрессе по механике (1965 год). В 1980 году был удостоен государственной премии СССР за разработку методов исследования конструкции машин.

Ученики А. Я. Александрова, а именно, Г. Н. Албаут (20.03.1940 - 30.07.2012) в 1974 году и В. Н. Барышников (12.10.1937 – 03.09.2004) в 1976 году пришли работать на кафедру строительной механики в НИСИ им. В. В. Куйбышева. Так одна из ветвей научной школы А. Я. Александрова появилась в Сибстрине. Стоит отметить, что в СССР технические вузы оснащались оборудованием для экспериментального исследования напряжений посредством поляризационно-оптических методов. Лаборатория при кафедре строительной механики НИСИ на тот момент времени была укомплектована двумя поляризационно-проеекционными установками ППУ-7. В связи с отсутствием в НИСИ специалистов по фотоупругости до прихода Г. Н. Албаут и В. Н. Барышникова эти установки никто не использовал.

Галина Николаевна Албаут родилась 20 марта 1940 года в Киселёвске Кемеровской области. В 1963 году окончила НИИЖТ, получила диплом с отличием. С 1963 по 1970 год работала в НИИЖТе инженером, затем старшим инженером в НИЛ прочности, училась в аспирантуре при кафедре строительной механики. В 1970 – 1974 годах работала доцентом в Читинском политехническом институте. После прихода на кафедру строительной механики НИСИ в 1977 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Применение метода фотоупругих покрытий к исследованию нелинейных задач при больших деформациях» по специальности «Сопrotивление материалов и строительная механика».

С появлением новых сотрудников на кафедре строительной механики начала функционировать лаборатория фотоупругости. Установки ППУ-7 были собраны и юстированы. В научном тандеме Виктор Николаевич отвечал за техническую сторону эксперимента, а Галина Николаевна за постановку задач и обработку экспериментальных данных. Основным



направление научных исследований Галины Николаевны было развитие нелинейной фотоупругости как базового экспериментального метода для исследования задач нелинейной механики разрушения. В 1999 году Г. Н. Албаут защитила диссертацию на соискание учёной степени доктора технических наук на тему «Нелинейная фотоупругость в механике разрушения» по специальности «Механика деформируемого твёрдого тела». В этот же период времени на кафедру в качестве стажёра-исследователя пришла работать М. В. Табанюхова, выпускница НГАСУ (Сибстрин) 1998 г. В 2000 году Марина Владимировна поступила в аспирантуру при кафедре строительной механики под руководством Г. Н. Албаут. В 2001 году в магистратуру при кафедре пришла выпускница НГАСУ (Сибстрин) 2001г. Н. В. Харинова. В 2003 году Наталья Владимировна защитила магистерскую диссертацию на тему «Изучение процессов деформирования и разрушения элементов строительных конструкций методами фотоупругости» (руководитель Г. Н. Албаут). Затем в 2003 году Н. В. Харинова поступила в аспирантуру. В 2006 году под руководством Г. Н. Албаут были защищены две кандидатские диссертации: «Решение задач прочности элементов сооружений с концентраторами методом фотоупругости» по специальности «Строительная механика» (М.В. Табанюхова) и «Нелинейная фотоупругость в задачах о концентрации напряжений» по специальности «Механика деформируемого твёрдого тела» (Н. В. Харинова) [3-4]. Обе ученицы Галины Николаевны работают на кафедре в настоящее время и продолжают развитие метода фотоупругости.

На протяжении всего времени функционирования лаборатории фотоупругости велось активное сотрудничество как с учёными НГАСУ (Сибстрин), так и за пределами вуза. Ряд работ по исследованию напряжённого состояния элементов конструкций и оценке концентрации напряжений выполнен совместно с сотрудниками кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин) [5-7]. Большое количество экспериментов реализовано в качестве проверки аналитических и численных решений задач прочности элементов конструкций, выполненных в рамках подготовки диссертаций сотрудниками конструкторских кафедр НГАСУ (Сибстрин) [8-19], а также сторонних организаций [20-22].

В настоящее время можно выделить три направления работы лаборатории фотоупругости: поиск новых пьезооптических материалов [24-28], автоматизация расшифровки данных метода фотоупругости [28-29], решение задач механики разрушения посредством метода фотоупругости [6-7; 30].

По результатам исследований, выполненных сотрудниками лаборатории, опубликовано более 100 научных статей, в том числе и в иностранных журналах [31]. Учёные, занимающиеся фотоупруго-

стью при кафедре строительной механики НГАСУ (Сибстрин), неоднократно выступали с докладами на конференциях различного уровня, симпозиумах, конгрессах, как в России, так и в ближнем и дальнем зарубежье, в том числе, во Франции (1998, 2001 гг.), в Польше (2000, 2002, 2004 гг.), на 8-м Всероссийском съезде по теоретической и прикладной механике в г. Пермь в 2001 году, в Москве (2003, 2007 гг.), в Томске (2003, 2004 2006 гг.), Киеве (2005 г.), Новосибирске (2011 г.), Нижнем Новгороде (2006, 2010 гг.), Казани (2004, 2009 гг.), Италии (2005 г.), Греции (2006 г.), а также в Таллинне, Риге, Минске, Санкт-Петербурге и т.д. Так коллектив лаборатории фотоупругости на конференции по физической мезомеханике в Томске (2004г) представил пять докладов [32-36].



Фото 2004 года. Томск, конференция по физической мезомеханике (слева направо): В.В. Дудин, М.В. Табанюхова, Г.Н. Албаут, Н.В. Харинова



Фото 2004 года. Польша. 21-й Симпозиум по экспериментальной механике. На фото вторая справа Г.Н. Албаут в компании польских учёных

В конце 90-х - начале 2000-х годов коллектив лаборатории фотоупругости поддерживал тесные научные связи с коллегами из Варшавского политех-



Юбилей НГАСУ (Сибстрин)

нического университета, одной из кафедр которого руководил профессор Йозеф Ступницкий. Благодаря этому сотрудничеству члены научного коллектива лаборатории неоднократно участвовали в симпозиумах по экспериментальной механике, организуемых Варшавским политехническим университетом [37-39].



Фото 2004 года. Польша. 21-й Симпозиум по экспериментальной механике.
М.В. Табанюхова и Г.Н. Албаут

Г. Н. Албаут принимала участие в работе 11-й международной конференции по разрушению в 2005г. [41-43]. На фотографии ниже она стоит рядом с Кобояши А., известным механиком из Японии, автором двухтомника по экспериментальной механике [40].



Фото 2005 года. Турин, Италия. 11-я международная конференция по разрушению. Г.Н. Албаут вторая справа в компании учёных из Японии

Галина Николаевна и Марина Владимировна представили три доклада [44-46] во время работы конференции «Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций» в Киеве в 2005 г.



Фото 2005 года. Турин, Италия. 11-я международная конференция по разрушению. Г. Н. Албаут с коллегой из Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН д.ф.-м.н. Корневым В. М.



Фото 2005 года. Киев. Конференция «Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций». Г. Н. Албаут с коллегой из Томска, д.ф.-м.н. Деревягиной Л.С.



Фото 2007 года. Пермь. XVI Всероссийская школа-конференция молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках». Табанюхова М.В. и Харинова Н.В. в первом ряду справа налево

Одна из знаковых конференций России по механике – это Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Коллектив лаборатории фотоупругости регулярно принимает участие в работе этих съездов.



Фото 2006 года. Нижний Новгород. IX-й Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Г. Н. Албаут (вторая справа) с коллегами из Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН



Фото 2019 года. Уфа. XII-й Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. М.В. Табанюхова

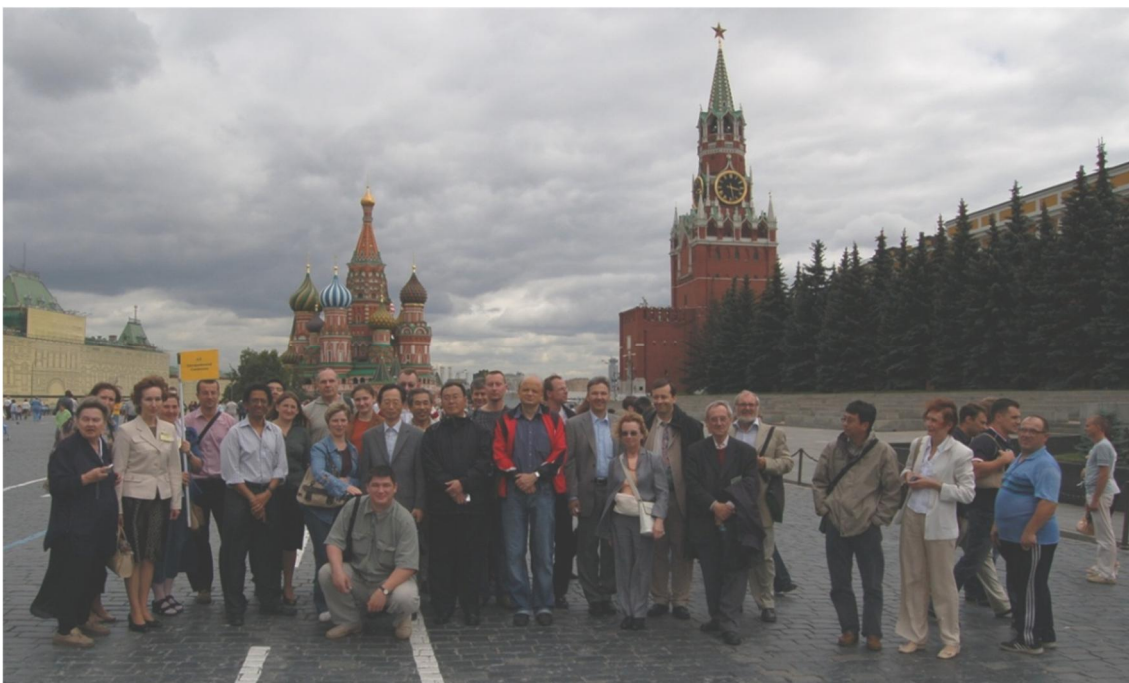


Фото 2007 года. Москва. Конференции ICF 07 Interquadrennial. Экскурсия по городу. Г.Н. Албаут крайняя слева

В 2019 году в Уфе коллектив лаборатории фотоупругости принимал участие в работе XII-го съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. М.В. Табанюхова и Н.В. Харинова представили там два доклада.

В 2007 г. результаты работы лаборатории фотоупругости докладывались на международной конференции ICF 07 Interquadrennial в Москве.

В настоящее время исследования в лаборатории фотоупругости проводятся под руководством М. В. Табанюховой и Н. В. Хариновой. К работе привлекаются студенты, магистранты и аспиранты. Результаты исследований докладываются на конференциях различного уровня [23-30, 47].

Библиографический список

1. Фрохт М. Фотоупругость: в 2 т. Т. 1: Поляризационно-оптический метод исследования напряжений: Пер. с англ. / М.М. Фрохт; под ред. Н.И. Пригоровского - М.: Гостехиздат, 1948. – 432 с.
2. Александров А.Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела / А.Я. Александров, М.Х. Ахметзянов. - М.: Наука, 1973. - 576 с.
3. Табанюхова М.В. Решение задач прочности элементов сооружений с концентраторами методом фотоупругости / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // ФГБОУ ВПО "Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)". Новосибирск, 2006
4. Харинова Н.В. Нелинейные фотоупругость в задачах о концентрации напряжений / диссертация на соиска-



ние ученой степени кандидата физико-математических наук // НИУ "Институт гидродинамики Сибирского отделения РАН". Новосибирск, 2006

5. Албаут Г.Н. Фотоупругий анализ напряженного состояния балок с трещинами /Албаут Г.Н., Канышев Ю.И., Табанюхова М.В.// В сборнике: Проблемы оптимального проектирования сооружений. Доклады 2-й Всероссийской конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) Сибирское отделение Российской академии архитектуры и строительных наук, Сибирское отделение международной академии наук высшей школы. 2011. С. 28-35.

6. Гербер Ю.А. Влияние радиуса закругления вершины трещины на напряжения /Гербер Ю.А., Нагель А.Е., Табанюхова М.В.// Вестник Самарского университета. Естественная серия. 2021. Т. 27. № 2. С. 62-69.

7. Гербер Ю.А. Напряжения вблизи вершины трещины-пропила /Гербер Ю.А., Нагель А.Е., Табанюхова М.В.// Строительная механика и конструкции. 2023. № 1 (36). С. 55-62.

8. Албаут Г.Н. К вопросу об определении коэффициентов интенсивности напряжений в элементах строительных конструкций /Албаут Г.Н., Пангаев В.В., Табанюхова М.В., Харинова Н.В.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 1 (553). С. 96-101.

9. Tabanyukhova M.V. Photoelastic analysis of mode I stress intensity factor in beams with angular notches /Tabanyukhova M.V., Pangaev V.V.// В сборнике: Fracture of Nano and Engineering Materials and Structures - Proceedings of the 16th European Conference of Fracture. 16. 2006. С. 447-448.

10. Албаут Г.Н. Определение коэффициентов концентрации напряжений в нестандартных задачах поляриционно-оптическими методами /Албаут Г.Н., Барышников В.Н., Пангаев В.В., Табанюхова М.В., Харинова Н.В.// Физическая мезомеханика. 2003. Т. 6. № 6. С. 91-95.

11. Пангаев В.В. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии /Пангаев В.В., Албаут Г.Н., Федоров А.В., Табанюхова М.В.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 2 (530). С. 24-29.

12. Албаут Г.Н. Исследование напряженного состояния элементов с ромбическими вырезами /Албаут Г.Н., Пангаев В.В., Табанюхова М.В., Харинова Н.В.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 12 (540). С. 98-103.

13. Albaut G. Models of plane elements with various singular features /Albaut G., Kharinova N., Pangaev V., Tabanyukhova M.// International Journal of Fracture. 2004. Т. 128. № 1. С. 243-251.

14. Tabanyukhova M.V. Analysis of change mode I stress intensity factor in elements with angular notches /Tabanyukhova M.V., Kurbanov A.B., Pangaev V.V.// В сборнике: 11th International Conference on Fracture 2005, ICF11. 2005. С. 435-439.

15. Албаут Г.Н. Поляриционно-оптическое изучение напряжений в элементах, имеющих различные сингулярности /Албаут Г.Н., Курбанов А.Б., Пангаев В.В., Табанюхова М.В.// Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. № S1-1. С. 359-362.

16. Tabanyukhova M.V. Analysis of change mode I stress intensity factor in elements with angular notches

/Tabanyukhova M.V., Kurbanov A.B., Pangaev V.V.// В сборнике: 11th International Conference on Fracture 2005, ICF11. 2005. С. 435-439.

17. Албаут Г.Н. Модельное исследование влияния организованных трещин на напряженное состояние балок /Албаут Г.Н., Митасов В.М., Пичкурова Н.С., Табанюхова М.В.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 6 (606). С. 119-127.

18. Албаут Г.Н. Влияние заранее организованных трещин на напряженное состояние трещин /Албаут Г.Н., Митасов В.М., Пичкурова Н.С., Табанюхова М.В.// В книге: Актуальные проблемы строительной отрасли. 66-я научно-техническая конференция НГАСУ (Сибстрин): тезисы докладов. Ответственные за выпуск: Г. И. Гребенюк, В. М. Митасов. 2009. С. 9.

19. Албаут Г.Н. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами поляризационно-оптическим методом при действии кратковременных нагрузок /Албаут Г.Н., Пуртов В.В., Павлик А.В., Табанюхова М.В., Михеева О.А.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7 (583). С. 116-121.

20. Албаут Г.Н. Влияние напряженно-деформированного состояния у вершины трещины /Албаут Г.Н., Табанюхова М.В., Морозов Н.Ф., Проскура А.В., Ястребкова Н.А.// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2000. № 9 (501). С. 143-145.

21. Албаут Г.Н. Изменение напряжений у вершин трещины из-за наличия в ее окрестности круглых пор /Албаут Г.Н., Проскура А.В., Табанюхова М.В., Ястребкова Н.А.// В сборнике: Научные труды II и III Международного конгресса "Ресурсо- и энергосбережение в реконструкции и новом строительстве". Сибирская ярмарка, Межрегиональная ассоциация "Сибирское соглашение", СО Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Администрация Новосибирской обл., Мэрия г. Новосибирска, Новосибирский государственный архитектурно-строительный ун-т. Новосибирск, 2000. С. 25-30.

22. Беляева И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухслойной системы типа "покрытие-подложка" /Беляева И.В., Табанюхова М.В., Худяков Д.С.// В книге: Международная конференция по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов. 2011. С. 75-76.

23. Асеев М.А. Исследование пьезооптических свойств пластика /Асеев М.А., Табанюхова М.В.// В сборнике: Интеллектуальный потенциал Сибири. материалы 28-ой Региональной научной студенческой конференции: в 3 частях. Под. ред. Соколовой Д.О., Новосибирск, 2020. С. 79-81.

24. Aseyev M.A. Search for plastics with piezo optic properties /Aseyev M.A., Tabanyukhov K.A., Tabanyukhova M.V.// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020 - Number 2" 2020. С. 022074.

25. Нагель А.Е. Перспективы использования аддитивных технологий /Нагель А.Е., Табанюхова М.В.// В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 368-370.



26. Волков Ф.С. Сравнение пьезооптических свойств фотополимерных смол weitek toughness photopolymer resin и анукубик basic /Волков Ф.С., Табанюхова М.В.// В сборнике: Интеллектуальный потенциал Сибири. Материалы 31-ой Региональной научной студенческой конференции: в 7 частях. Новосибирск, 2023. С. 92-95.
27. Мглинец Э.А. Исследование пьезооптических свойств водорастворимой фотополимерной смолы /Мглинец Э.А., Медведева Н.А., Табанюхова М.В.// В сборнике: Интеллектуальный потенциал Сибири. Материалы 31-ой Региональной научной студенческой конференции: в 7 частях. Новосибирск, 2023. С. 107-110.
28. Лихачев А.В. Оценка расстояния от заданной точки до максимума интерференционной полосы /Лихачев А.В., Табанюхова М.В.// Автометрия. 2021. Т. 57. № 3. С. 30-38.
29. Лихачев А.В. Новый алгоритм обработки данных метода фотоупругости /Лихачев А.В., Табанюхова М.В.// Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2022. № 79. С. 100-110.
30. Нагель А.Е. Напряжения вблизи пропила, имитирующего трещину /Нагель А.Е.// В сборнике: Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства. Сборник научных статей. Редколлегия: А.Р. Волик (гл. ред.) [и др.]. Гродно, 2022. С. 114-117.
31. Albaut G. Models of plane elements with various singular features/ G.Albaut, N.Kharinova, V.Pangaev, M.Tabanuykhova// Internatinal Journal of Fracture. – Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherland. – 2004. – 128(1). – P.243-251.
32. Албаут Г.Н. Исследование локализации деформаций и напряжений в шейке тонкой полосы методом фотоупругих покрытий/ Г.Н.Албаут, М.Х.Ахметзянов, В.Н.Барышников// Физическая мезомеханика. Спецвыпуск. Томск. – 2004. – Т.7. – №7. – С.347-350.
33. Албаут Г.Н. Экспериментальное решение нелинейных задач механики трещин/ Г.Н.Албаут, Н.В.Харинова, А.А.Романова// Физическая мезомеханика. Спецвыпуск. Томск. – 2004. – Т.7. – №7. – С.363-366.
34. Албаут Г.Н. Поляризационно-оптическое изучение напряжений в элементах, имеющих различные сингулярности/ Г.Н. Албаут, А.Б. Курбанов, В.В. Пангаев, М.В. Табанюхова// Физическая мезомеханика. Спецвыпуск. Томск. – 2004. – Т.7. – №7. – С.359-362.
35. Дудин В.В. Исследование пластин с боковыми надрезами методом нелинейной фотоупругости/ В.В.Дудин, Н.В.Харинова// Физическая мезомеханика. – 2004. – т.7. Спецвыпуск, ч.1. – С.371-373.
36. Табанюхова М.В. К вопросу об определении первого коэффициента интенсивности напряжений в элементах с ромбическими вырезами/ М.В.Табанюхова, Н.В.Харинова// Физическая мезомеханика. 2004. - т.7. Спецвыпуск, ч.1. С.378-381.
37. Albaut G.N. Nonlinear photoelasticity in experimental mechanics of fracture// In Proceedings of 21st Symposium on experimental mechanics of solids. Jachranca, Poland, 2004. – P.123 - 128.
38. Tabanuykhova M. Experimental determination of stresses and concentration coefficients near singular points by photoelasticity / M.Tabanuykhova, V.Pangaev// 21th Symposium on Experimental Mechanics of Solid. – Jachranka, Poland, 2004. – P.487 - 492.
39. Albaut G. Photoelasticity study of stress-strain condition near cracks in rubber materials/ G.Albaut, N.Kharinova// In Proceedings of 21st Symposium on experimental mechanics of solids. Jachranca, Poland, – 2004. – P.129-134.
40. Кобаяси А. Экспериментальная механика. В двух книгах/ С. Атлури, А. Кобаяси, Д. Дэлли, У. Райли и др.; Под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир. – 1990. – (Книга первая – 616с., книга вторая – 552с.).
41. Albaut G.N. Non-linear photoelasticity analysis of fracture mechanics problems// In Proceedings of, Turin, Italy, 2005. P. 4956-4961
42. Tabanyukhova M.V. Analysis of change mode I stress intensity factor in elements with angular notches/ M.V.Tabanyukhova, A.B.Kurbanov, V.V.Pangaev// In Proceedings of, Turin, Italy, 2005. P. 435-439.
43. Albaut G.N. Stress-strain study near cracks in rubber models by nonlinear photoelasticity/ G.N. Albaut, N.V. Kharinova// In Proceedings of, Turin, Italy, 2005. P. 5010-5014.
44. Албаут Г.Н. Анализ локализации деформаций и напряжений в плоской шейке экспериментальными методами/ Г.Н. Албаут, Л.С. Деревягина// Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций». – Киев, 2005. – С.7.
45. Албаут Г.Н. Зависимость напряженного состояния плоских элементов с вырезами от углового параметра /Г.Н.Албаут, В.В. Пангаев, М.В. Табанюхова// Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций». – Киев, 2005. – С. 9.
46. Албаут Г.Н. Концентрация напряжений и деформаций в эластомерах/ Г.Н. Албаут, Н.В. Харинова// Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций». – Киев. – 2005. – С.353-354.
47. Нагель А.Е. Напряженное состояние горного массива в зависимости от формы поперечного сечения горной выработки /А.Е.Нагель, С.А.Волкова, К.Е.Лукашова//Магистерские слушанья: Сборник материалов научно-технической конференции для магистрантов, Новосибирск, 09 ноября 2024 года. - Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. - С. 21-25.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



Обзорная статья

УДК 624.014

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_2_118

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ КАФЕДРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НГАСУ (СИБСТРИН)

© Авторы, 2025

SPIN: 7348-6943

ШАФРАЙ Константин Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск)

AuthorID: 416723

ПУРТОВ Вячеслав Васильевич

кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск)

AuthorID: 479177

ШВЕДОВ Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет «Сибстрин»

(Россия, Новосибирск)

Аннотация. В статье представлены сведения о научных школах кафедры металлических и деревянных конструкций. Дана информация об их деятельности в период наиболее яркого расцвета, и о наиболее значимых научных результатах ученых кафедры. Результаты исследований школ нашли широкое применение на практике – в нормативных документах, при проектировании и усилении строительных конструкций, а также в учебном процессе.

Ключевые слова: научные школы; металлические конструкции; деревянные конструкции; исследования; Сибстрин

Для цитирования: Шафрай К.А., Пуртов В.В., Шведов В.Н. Научные школы кафедры металлических и деревянных конструкций НГАСУ (Сибстрин) // Эксперт: теория и практика. 2025. № 2 (29). С. 118-123. doi 10.51608/26867818_2025_2_118

Review article

SCIENTIFIC SCHOOL OF THE DEPARTMENT OF METAL AND WOODEN STRUCTURES OF NSUACE (SIBSTRIN)

© The Author(s) 2025

SHAFRAY Konstantin Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)

PURTOV Vyacheslav Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)

SHVEDOV Vladimir Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

(Russia, Novosibirsk)



Abstract. The article presents information about the scientific schools of the department of metal and wooden structures. Given information about their activities during the period of the brightest bloom and about the most important scientific results of the scientists of the department. The results of the school studies have been widely applied in practice – in regulatory documents, in the design and reinforcement of building structures, as well as in the educational process.

Keywords: scientific schools; metal structures; wooden structures; researches; Sibstrin

For citation: Shafray K.A., Purtov V.V., Shvedov V.N. Scientific school of the department of metal and wooden structures of NSUACE (Sibstrin) // Expert: Theory and Practice. 2025. № 2 (29). Pp. 118-123. (In Russ.). doi 10.51608/26867818_2025_2_118

Свое летоисчисление кафедры металлических и деревянных конструкций ведет с 1 июля 1930 г. Дисциплину "Металлические и деревянные конструкции" в тот период вел доцент Б. С. Скрипов, специалист по деревянным конструкциям, много сделавший для становления конструкторских дисциплин. Б. С. Скрипов, разработал методику преподавания дисциплины и создал учебник "Деревянные конструкции" – курс лекций, прочитанных автором студентам специальности ПГС. В 1933 г. из крупной проектной организации "Кузбассшахтострой" на кафедру был приглашен опытный инженер М. В. Лепехин, участвовавший в проектировании ряда стальных надшахтных копров и других сложных сооружений. Он являлся учеником профессора Г. В. Ульяновского, руководителя томской школы проектирования стальных мостов.

В 1935 г. состоялся первый выпуск инженеров, выполнивших дипломные проекты по металлическим и деревянным конструкциям, и с тех пор кафедра постоянно готовит инженеров по этому виду строительных конструкций.

В 1936 г. (штат кафедры тогда состоял из 4 человек) был создан учебный кабинет, начались научные исследования в области металлических и деревянных конструкций.

Значительный рост коллектива связан с периодом Великой Отечественной войны, когда в состав Сибстрина влились эвакуированные сотрудники ДИСИ (Днепропетровск) и МИСИ (Москва), в том числе группа видных ученых в области строительства. В декабре 1941 г. для трех вузов была организована единая кафедра металлических конструкций во главе с членом-корреспондентом АН СССР, профессором Н. С. Стрелецким. Одновременно создается кафедра деревянных конструкций во главе с профессором В. В. Большаковым. Они оказали большое влияние на развитие, научной и научно-методической работы кафедры в области деревянных и металлических конструкций. Под их влиянием и руководством многие преподаватели кафедры выполнили и защитили кандидатские диссертации (доц. Б. С. Скрипов, доц. доц. М. В. Лепехин и другие).

После Великой Отечественной войны важным для становления и роста кафедры был приход опытных специалистов с производства - Я. С. Левенсона, В. С. Бессонова, Л. Г. Умряшевой. С. В. Колпакова,

К. И. Лукьянова, В. Г. Рубаника, А. Г. Меркулова. В состав коллектива вливались и молодые ученые, воспитанники Сибстрина и других вузов страны: П. А. Дмитриев, И. И. Кошин, Е. И. Егоров, В. В. Бирюлёв, В. Ф. Бондин, В. Г. Сипаренко, А. В. Сильвестров, Ю. К. Осипов. Этот период характерен активным развитием научной деятельности кафедры. В. В. Бирюлёв вместе с А. В. Сильвестровым и П. А. Дмитриевым (в последующем д.т.н., профессором, членом-корреспондентом СО АН ВШ) (рис.1) возглавили крупные научные направления в области металлических и деревянных конструкций.



Рис. 1. П.А. Дмитриев, А.В. Сильвестров, В.В. Бирюлев

С этого момента научная деятельность кафедры связанная в основном со школами, созданными В. В. Бирюлевым, А. В. Сильвестровым, П. А. Дмитриевым, предопределила успешную работу аспирантуры по подготовке кандидатов и докторов наук. Более полусотни человек, обучавшихся в аспирантуре, защитили кандидатские, а В. В. Бирюлев, А. В. Сильвестров, П. А. Дмитриев и С. Д. Шафрай докторские диссертации.



С 1955 года под руководством В. В. Бирюлева начали проводиться комплексные теоретические и экспериментальные исследования работы стальных балок и ферм с регулированием напряжений, в которых принимали участие аспиранты, а позже сотрудники кафедры В. П. Силенко, А. А. Заборский, И. И. Крылов, В. М. Добрачев и другие аспиранты. По материалам этих исследований изданы в ЦНИИСК Госстроя СССР "Руководство по неразрезным конструкциям с регулированием уровня опор", монография В. В. Бирюлева "Металлические неразрезные конструкции с регулированием уровня опор" [1], опубликованы десятки статей, защищена докторская диссертация В. В. Бирюлевым и 6 кандидатских диссертаций его аспирантами. В исследованиях принимали участие сотрудники кафедры А. В. Сильвестров, И. И. Крылов, В. М. Добрачев, Ю. М. Щербаков, аспиранты А. З. Клячин, В. П. Силенко, А. А. Заборский, Н. А. Журавлев, С. И. Нарватов.

С 1973 года в связи с известным постановлением Совета Министров СССР о развитии легких металлических конструкций комплектной поставки под руководством В. В. Бирюлева началась разработка и исследование таких конструкций, обеспечивающих меньший расход металла и более технологичных по сравнению с традиционными конструктивными решениями балок, ферм, рам. Исследования проводились широким фронтом и касались различных конструктивных форм:

1. Разработка и исследование работы ферм со стержнями из прямоугольных труб, образованных сваркой прокатных уголков. Такие фермы запроектированы и использованы на ряде объектов г. Новосибирска. По этому разделу работали аспиранты И. Н. Чернов, В. А. Галатенко, А. А. Кользеев.

2. Были исследованы балки с перфорированной стенкой, уточнена методика их расчета (асп. В. М. Добрачев).

3. Проведены исследования балки с гибкой стенкой. Предложено выполнять их бистальными с использованием более прочной стали в стенках (асп. Н.А.Журавлев)

4. Проведены комплексные исследования фланцевых соединений. Разработана методика расчета с учетом развития пластических деформаций во фланцах (асп. В. В. Катюшин). Оценивалась хладостойкость фланцевых соединений при статических (асп. А. В. Бажанов, при участии доцента С. Д. Шафрая) и малоцикловых нагружениях (асп. С. Д. Афанасьев).

5. Для сейсмостойких каркасов многоэтажных зданий разрабатывались эффективные легкие конструктивные формы - колонны с замкнутыми сечениями, балки с гофрированной стенкой. Эти работы проводились на базе исследований Казахского отделения ЦНИИПСК (В. В. Долинский, Г. М. Остриков, Ю. С. Максимов, А. А. Опланчук и другие аспиранты).

6. Разработаны и исследованы эффективные блоки покрытия с верхним поясом из стального профилированного листа, подкрепленного поворачивающимися фермами для пролетов 9, 12 и 18 м, а также блок-секции комплектной поставки (асп. В. И. Почка, асп. В. А. Бобров, доц. И. И. Крылов)

7. Был проведен анализ возможности применения отработанных буровых и некондиционных обсадных труб нефтяного сортамента для районов Севера и разработаны на их основе стропильные фермы и безраскосные балки (к.т.н. А. А. Кользеев, аспирант А. А. Кикоть и соискатель А. В. Меньшиков).

8. Проведены исследования особенностей работы сплошностенчатых рам переменной сечения. Разработана методика оценки местной устойчивости стенки элементов таких рам (асп. А. Г. Новиньков).

В начале нынешнего столетия в продолжение работ по созданию легких металлических конструкций профессором И.И. Крыловым были проведены исследования в области современных перспективных конструкций из тонкостенных оцинкованных стальных профилей толщиной до 3,0 мм. для разработки новых конструктивных форм несущих строительных конструкций и узловых соединений из таких профилей. Был предложен ряд новых надежных, высокоэффективных конструкций и узловых соединений тонкостенных профилей. Под руководством И. И. Крылова по этой теме, защищены кандидатские диссертации (аспиранты А. Н. Кретинин, А. В. Коротких).

В настоящее время продолжают работы по созданию и исследованию новых конструкций покрытия с несущими элементами в виде ферм со стержнями замкнутого сечения (руководитель доцент А. А. Кользеев). Проводятся исследования, направленные на совершенствование монтажных соединений на высокопрочных болтах с применением фланцев (руководитель доцент К. А. Шафрай).

Начиная с 1964 г. на кафедре получило развитие научное направление, связанное с исследованием хладостойкости стальных конструкций. Возглавил это направление доцент А. В. Сильвестров, а после его отъезда в г. Днепропетровск в марте 1983г. - доцент С. Д. Шафрай.

Работы проводились в теоретическом и экспериментальном направлениях. В первые же годы работы над этой темой была собрана уникальная картотека, включающая более 300 случаев хрупкого разрушения стальных строительных конструкций, были выявлены наиболее характерные конструктивные формы пониженной хладостойкости. В ходе исследований были проведены испытания сотен моделей стержней, узлов ферм, балок и других конструктивных элементов. Была разработана методика охлаждения испытываемых моделей конструкций с



помощью сжиженной углекислоты, а затем и азота. С целью выработки рекомендаций по повышению надежности проведены освидетельствования стальных конструкций машинного зала Красноярской ГЭС и трубосварочного цеха № 3 Новосибирского металлургического завода, галерей топливоподдачи Омской ТЭЦ-2, Комсомольской на Амуре ТЭЦ-2, Читинской ГРЭС, Новосибирских ТЭЦ-3 и 4 и многих других. Разработаны предложения по расчету на прочность при хрупком разрушении вследствие снижения температуры, а также практические рекомендации по проектированию. Часть результатов исследований вошла в соответствующую главу норм проектирования (СНиП II-23-81*). В исследованиях приняли участие сотрудники кафедры доценты С. Д. Шафрай, А. И. Репинн, ассистенты В. М. Беспалов, С. А. Гладков, Г. Г. Чибряков (бывшие аспиранты), аспиранты Р. М. Шагимарданов, В. Д. Наделяев, В. Г. Темников, В. И. Горбачёв, М. Д. Семенович, К. А. Ерохин, Е. А. Мойсейчик, С. В. Миронов, В. Г. Кудрин, В. В. Караман, В. П. Садкин, С. Ю. Исаков, В. Н. Сапрыкин, А. В. Сергеев, А. В. Бажанов, К. А. Шафрай, Д. С. Мельников. По материалам этих исследований опубликованы десятки статей, в общей сложности по этой тематике защищено 21 кандидатская, и 2 докторские диссертации (А. В. Сильвестровым в 1975 г и С. Д. Шафраем в 2000 г.). Под руководством профессора С. Д. Шафрая (который является научным консультантом 5-ти и научным руководителем трех успешно защищенных кандидатских работ) в настоящее время продолжают исследования по теме на кафедре его учениками доцентами К. А. Шафраем и А. В. Сергеевым.

Традиционной темой для кафедры являлись исследования по реконструкции и усилению стальных конструкций. По этой тематике работали в той или иной мере все сотрудники кафедры.

Большой объем работ в 80-90-х годах выполнялся под руководством профессора И. И. Крылова по исследованию ресурса работы эксплуатируемых подкрановых балок. Для экспериментальных исследований в этой области в г. Новосибирске была разработана и смонтирована специальная установка, позволяющая испытывать крупномасштабные модели балок на подвижную нагрузку, имитирующую крановую. По материалам обследования более тридцати километров подкрановых балок, проведенных на Западно-Сибирском металлургическом комбинате, Новосибирском металлургическом заводе и других предприятиях, а также экспериментальных исследований на испытательной установке и теоретических исследований опубликован ряд статей. Результаты исследований ресурса эксплуатируемых подкрановых балок докладывались на многих Всесоюзных и Международных научно-технических конференциях, вошли в соответствующий раздел

"Пособия по усилению стальных конструкций" (к разделу 20 СНиП II-23-81*). Подготовлены и защищены кандидатские диссертации В. А. Чумаковым, Б. Н. Васютой, А. А. Железновым. Научные исследования, начатые во главе с профессором И. И. Крыловым, продолжают его учеником доцентом Б. Н. Васютой, под руководством которого аспирантом Г. В. Чалковым успешно защищена канд. диссертация, разработаны практические рекомендации по обеспечению надежности подкрановых конструкций: стандарт организации СТО 22-15-06 «Временные методические указания по техническому надзору за эксплуатацией подкрановых балок с усталостными трещинами в верхней зоне стенки»

Под руководством проф. И. И. Кошина с 1954 г. проводились работы по исследованию влияния конструктивной формы металлических конструкций на коррозионную стойкость. Устанавливалось влияние формы сечений стержней, наличие острых углов, щелей и других особенностей на коррозионную стойкость. Оценивалось влияние конструктивных форм на долговечность отдельных видов защитных покрытий. Была создана специальная лаборатория с установками искусственного климата. Исследования проводились на ряде заводов цветной металлургии в т.ч. на Беловском цинковом заводе, Чимкентском комбинате и др. Опубликован ряд статей. Защищено 3 кандидатских диссертации. В работе приняли участие аспиранты А. Карамалдаев, И. В. Харламов, А. И. Воробьев.

В 1990 г. под общей редакцией В. В. Бирюлева опубликована монография по проектированию металлических конструкций [2] в которой в том числе отражены результаты исследований металлических конструкций, проведенные на кафедре ее сотрудниками.

В период с 1974 г. кафедра была разделена на кафедры металлических конструкций (заведующий профессор А. В. Сильвестров) и конструкций из дерева и пластмасс (заведующий профессор П. А. Дмитриев), которые существовали до 2000 г. когда они были вновь объединены в кафедру металлических и деревянных конструкций. На фотографиях (рис. 2, 3) представлены сотрудники этих кафедр в 1983 и 1987 гг.

Дмитриев П.А. внёс крупный вклад в развитие теории расчета конструкций из дерева и пластмасс и создал Сибирскую школу по этому направлению.

С 1975 года под руководством П. А. Дмитриева начались разработка и исследования цельнодеревянных и клееных конструкций и их узловых

соединений. Исследования и конструирование проводились по следующим направлениям:

Соединения деревянных элементов на нагелях из стеклопластика АГ-4С, клеепластмассовых



Рис. 2. Февраль 1983г. сотрудники кафедры металлических конструкций и кафедры конструкций из дерева и пластмасс (КДиП). Первый ряд слева направо: асс. А.И. Репин, доц. Е.И. Егоров, доц. А.Г. Меркулов, ст. преп. В.Г. Сипаренко (КДиП), доц. Л.Г. Умряшева, проф. зав. кафедрой КДиП П.А. Дмитриев, зав. кафедрой А.В. Сильвестров, проректор по НИР проф. В.В. Бирюлев, доц. В.С. Бессонов, доц. В.Ф. Бондин (КДиП), доц. И.И. Крылов, доц. Ю.К. Осипов (КДиП), асп. В.А. Галатенко. **Второй ряд:** доц. Ю.Д. Стрижаков (КДиП), ст. преп. В.В. Курепин, асс. В.В. Волков, асс. В.М. Добрачев, асп. В.Г. Кудрин, асс. Г.Г. Чибряков, доц. С.Д. Шафрай, асс. С.А. Gladков, асп. А.А. Кользеев, стажер С. Власов. **Третий ряд:** асп. К.А. Ерохин, инж. В.И. Почка, асс. В.Н. Сапрыкин, инж. С.Ю. Исаков, асп. С.В. Миронов, асп. Н.А. Журавлев

шайбах, нагелях крестообразного сечения, стальных пластинах и дюбелях, фанерных накладках и гвоздях.

По этому направлению работали аспиранты: Ю. Д. Стрижаков, Л. К. Стрижакова, В. Н. Шведов, В. В. Пуртов, Л. А. Максименко.

Деревянные фермы и пространственные конструкции. В этой области работали аспиранты: Ю. К. Осипов, В. И. Ушаков, А. Г. Кондаков, В. И. Жаданов, С. Г. Комиссаров, И. С. Инжутов, П. П. Дмитриев и И. И. Хороший.

Опорные узлы и шарниры деревянных конструкций. В этом направлении работали аспиранты Т. В. Горбунова, Т. Махматкулов, О. А. Михайленко.

Многие научные результаты работ и инженерные решения П. А. Дмитриева были использованы в нормативных документах и учебных пособиях, а также применяются при разработке экспериментальных и типовых конструкций в ведущих научно-исследовательских организациях (НИИСК, ЦНИИпромзданий, СибЗНИИЭП и другие). Профессор П. А. Дмитриев известен как крупный ученый и специалист в области строительных конструкций и за рубежом. Он был участником девяти международ-

ных семинаров, симпозиумов, конференций, на которых выступал с лекциями и докладами, поддерживал постоянный контакт с ведущими учеными в области строительства Великобритании, Австрии, Словакии, Польши и другими.

Под руководством и активном участии Петра Андреевича выполнены и опубликованы свыше 270 научных трудов и монографий в области строительных конструкций из дерева и пластмасс и их соединений [одни из их 3-5 и др.], получено 35 авторских свидетельств на изобретения. Он активно участвовал в подготовке научных кадров. Под его руководством подготовили и защитили кандидатские и докторские диссертации 16 аспирантов и 2 докторанта, которые преподают в вузах, работают в научно-исследовательских и проектных организациях России.

Исследованием работы соединений деревянных элементов на клеенных стальных стержнях и арматуры на кафедре занимались С.В. Колпаков (аспиранты В. И. Грохотов, Д. Н. Ганиев, И. П. Пинайкин, Т. П. Бацунова) и В. Ф. Бондин (Ю. Б. Вылегжанин, Ф. А. Бойтемиров, В. Ю. Щуко, Б. И. Евдокимов).



Рис. 3. 1987г. Кафедра конструкций из дерева и пластмасс. 1 ряд - слева направо: Ю.Д. Стрижаков, С.В. Колпаков, П.А. Дмитриев, В.Ф. Бондин, В.Г. Сипаренко, 2 ряд - слева направо: Д. Ганиев, В.П. Добрачева, Л.А. Максименко, В.В. Пуртов, С.Ю. Крживацкий, И.И. Пинайкин

В настоящее время продолжают исследования соединений деревянных элементов на нагелях крестообразного сечения, забитых огнестрельным способом (руководитель канд. техн. наук, доцент В. Н. Шведов) и соединений деревянных конструкций на стальных пластинах и дюбелях [6], (руководитель канд. техн. наук, доцент В. В. Пуртов).

В 2018 году была подготовлена на кафедре и защищена А. В. Павликом. кандидатская диссертация «Прочность соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами» (руководитель канд. техн. наук, доцент В. В. Пуртов).

Научные исследования по металлическим и деревянным конструкциям, проводимые на кафедре, неразрывно связаны с инженерной практикой. Это позволяет выявить актуальные проблемы в области металлостроительства и деревянных конструкций и служат основным критерием для выбора направления научных исследований.

Библиографический список

1. Проектирование металлических конструкций: спец. курс. Учеб. Пособие для вузов / В.В. Бирюлев, И. И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. - Л.: Стройиздат, 1990 – 432с.
2. Бирюлев В.В. Металлические неразрезные конструкции с регулированием уровня опор. – М.: Стройиздат, 1984г. – 88с.
3. Дмитриев П.А. Конструкции из дерева и пластмасс // Специальный курс. Автодорожные и пешеходные мосты: учеб. пособие. Новосибирск: НГАСУ, 2002. - 192 с.
4. Дмитриев П.А. Башни, мачты, безметалльные конструкции, леса и подмости, опоры воздушных ЛЭП, сейсмостойкие здания и сооружения. - Красноярск: КрасГАСА. - 2006. -170 с.
5. Дмитриев, П.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Курс в вопросах и ответах / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, О.А. Михайленко. – Оренбург: ООО «НикОс», 2011. -480с.
6. Инжутов И.С., Жаданов В.И., Пинайкин И.П., Пуртов В.В. Конструкции из дерева и пластмасс: Конспект лекций. Часть II. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. -252с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 30.05.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.



ПОЗДРАВЛЯЕМ
победителей профессиональных конкурсов 2024 года
Александра Анатольевича ТРЕЩЕВА
и коллектив руководимой им кафедры «Строительство, строительные материалы
и конструкции» Тульского государственного университета

CONGRATULATIONS
TO THE WINNERS OF 2024 PROFESSIONAL COMPETITIONS

По результатам научной деятельности в 2024 году Российской инженерной академией (РИА) с Ассоциацией технических университетов подведены итоги проведенных Всероссийских конкурсов имени первопечатника Ивана Федорова на лучшую публикацию по научно-исследовательской и научно-методической работе (монография, энциклопедия, учебник, учебное пособие, научный журнал) и Премии имени Гришманова А.И. в области науки, техники и организации производства промышленности строительных материалов, конструкций и строительной индустрии.

Решением Президиума Российской инженерной академии, в номинации лучший учебник присвоено звание Лауреата Конкурса имени Первопечатника Ивана ФЁДОРОВА Трещеву Александру Анатольевичу за работу: «Трещев А. А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов: учебник. – Тула: ТулГУ, 2020 – 359 с.» — ISBN 978-5-7679-4648-8 (рис. 2).

Решением Президиума Российской инженерной академии, в номинации лучшее учебное пособие присвоено звание Лауреата Конкурса имени Первопечатника Ивана ФЁДОРОВА Трещеву Алек-



Рис. 1. Коллектив кафедры ССМик ТулГУ

Первый ряд слева на право: Барковская Светлана Владимировна – доцент, кандидат технических наук; Захарова Ирина Александровна – доцент, кандидат физико-математических наук (зам. зав. кафедрой); Трещев Александр Анатольевич – заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, член Национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике, эксперт РАН, лауреат премии им. С.И. Мосина, лауреат премии им. И.А. Гришманова, четырежды лауреат конкурса им. Первопечатника Ивана Фёдорова, Почетный строитель России, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, награжден медалью «Трудовая доблесть» 3-й степени; Судакова Инга Анатольевна – доцент, кандидат технических наук; **Второй ряд** слева на право: Прохорова Алла Валерьевна – доцент, кандидат технических наук; Бажутова Виолетта Олеговна – доцент, кандидат технических наук; Батырев Константин Георгиевич – доцент, кандидат физико-математических наук; Теличко Виктор Григорьевич – профессор, доктор технических наук; **Третий ряд** слева на право: Делягин Михаил Юрьевич – доцент, кандидат технических наук; Сергеева Светлана Борисовна – доцент, кандидат технических наук; **Четвертый ряд** слева на право: Кочергина Людмила Альбертовна – заведующая лабораторией; Захарова Наталья Петровна – старший лаборант; Синицына Татьяна Евгеньевна – инженер



сандру Анатольевичу за работу: «Прикладные задачи теории деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов. Учебное пособие. – Тула: ТулГУ, 2021 – 199 с.» — ISBN 978-5-7679-4824-6 (рис. 3).

риалов и строительной индустрии присуждена Премия имени Ивана Александровича ГРИШМАНОВА кафедре «Строительство, строительные материалы и конструкции» (ССМиК) Тульского государственного университета (рис. 4).



Рис. 2. Диплом лауреата конкурса за учебник Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов: учебник. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. – 359 с. ISBN 978-5-7679-4648-8



Рис. 3. Диплом лауреата конкурса за учебное пособие Трещев А.А. Прикладные задачи теории деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов: учебное пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2021. – 200 с. ISBN 978-5-7679-4824-6

Решением Президиума Российской инженерной академии, в номинации лучший научный коллектив за заслуги в области подготовки кадров специалистов для промышленности строительных мате-

Учебник посвящен систематическому изложению общей теории деформирования и прочности конструкционных материалов, механические характеристики которых изначально в силу структурных



Рис. 4. Диплом лауреата Премии имени Ивана Александровича ГРИШМАНОВА

особенностей зависят от вида напряженного состояния, либо данное свойство возникает под действием агрессивных сред в зависимости от их концентрации в структуре материала. В рамках нормированных пространств напряжений рассмотрены определяющие соотношения квазилинейно упругих изотропных и анизотропных разнородных материалов, приведены условия прочности. Конституционные зависимости для изотропных нелинейных разнородных материалов сформулированы по типу уравнений теории малых упругопластических деформаций. Рассмотрены основные теоремы теории упругости для разномодульных материалов, общие законы изменения объема, формы и фазовая характеристика. Описана методика экспериментальной проверки уравнений связи деформаций с напряжениями, установлена область устойчивости потенциалов деформаций. Проведен детальный анализ существующих моделей теорий деформирования разнородных материалов.

Учебник предназначен для магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 – «Строительство» с направленностью «Теория и проектирование зданий и сооружений», а также – для аспирантов, обучающихся по специальностям: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и 05.23.17 – «Строительная механика». Учебник будет также полезен инженерам и научным работникам, интересующимся проблемами механики деформируемых тел и ее приложениями в строительстве, машиностроении, аппаратостроении и других областях современной техники.

Учебное пособие посвящено систематическому изложению постановки прикладных задач те-

рии деформирования и прочности конструктивных материалов, механические характеристики которых изначально в силу структурных особенностей зависят от вида напряженного состояния. Для решения прикладных задач используется наиболее экспериментально проверенная и непротиворечивая теория, сформулированная в нормированных пространствах напряжений. Авторы этой теории являются Матченко Н.М. и Трещев А.А., разработавшие различные ее аспекты. Кроме того, в пособии рассмотрены отдельные варианты решения аналогичных задач с использованием наиболее известных определяющих соотношений, предложенных другими авторами. В рамках принятой теории получены аналитические решения ряда простейших прикладных задач, изложены общие аспекты теории изгиба тонких пластин, выполненных из разнородных материалов, обладающих разным уровнем структурной анизотропии, включая полную симметрию свойств. Рассмотрены некоторые задачи термоупругости для разнородных материалов, включая связанность полей напряжения и температуры. Проведено сравнение полученных решений с данными наиболее известными теориями деформирования разнородных материалов, предложенными другими авторами.

Учебное пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 – «Строительство» с направленностью «Теория и проектирование зданий и сооружений», а также – для аспирантов, обучающихся по специальностям: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и 05.23.17 – «Строительная механика». Учебное пособие будет также полезно инженерам и



научным работникам, интересующимся проблемами механики деформируемых тел и ее приложениями в строительстве, машиностроении, аппаратостроении и других областях современной техники.

Об истории кафедр. Кафедра «СТРОИТЕЛЬСТВО, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ» (ССМИК) была создана в 1999 году после неоднократных реорганизаций структурных подразделений строительного факультета Тульского политехнического института (образован в 1930 году), а ныне Тульского государственного университета (с 1993 г.). Основой ее организации послужили кафедры «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС) и «Строительные материалы и изделия» (СМИИ), которые существовали до 28.05.99 г. как два самостоятельных подразделения Тульского государственного университета. В настоящее время эти кафедры объединены в одну и гармонично дополнили друг друга.

Кафедра ПГС была создана в 1958 году и носила название «Строительные конструкции и строительная механика» (СКИСМ), ее возглавлял выдающийся ученый 20-го века – заслуженный деятель науки и техники РСФСР профессор, д.ф.-м.н. Толоконников Л.А. В 1962 году кафедрой стал заведовать доцент, к.т.н. Шушания В.Р., а с 1969 года – доцент Самохвалов В.А. Позже, в 1974 году к кафедре СКИСМ присоединилась кафедра архитектуры, и тут же на базе этого конгломерата были организованы две самостоятельные кафедры: «Металлические конструкции и строительная механика» (МКИСМ) и «Архитектура и строительные конструкции» (АиСК). Первую кафедру бессменно возглавлял к.т.н., профессор Нехаев Г.А., а второй – поочередно заведовали к.т.н., профессор Зиборов Л.А. (с 1975 г. по 1980 г., с 1983 г. по 1988 г.) и д.ф.-м.н., профессор Матченко Н.М. (с 1980 г. по 1983 г.). В 1988 году эти две кафедры слились под общим названием: «Архитектурное и строительное проектирование» (АиСП), а заведующим этой кафедрой был избран профессор Матченко Н.М. В 1993 году кафедра была переименована в кафедру «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС), из которой через 4 года выделилась кафедра «Городское строительство и архитектура».

Кафедра «Строительные материалы и изделия» была организована летом 1963 года при Тульском горном институте, ее возглавил к.т.н., доцент Е.И. Васильев, который руководил ею с 1963 г. по 1972 г. В последующем кафедрой заведовали: к.т.н., доцент Анисимов Н.М. – с 1972 г. по 1973 г.; к.т.н., доцент Куранов В.П. – с 1973 г. по 1981 г. и с 1986 г. по 1993 г.; к.т.н., доцент Тихонов С.П. – с 1981 г. по 1982 г.; к.т.н., доцент Игнатов В.П. С ноября 1993 года кафедру возглавил д.т.н., профессор Трещев А.А. За всю историю существования до 28.05.99 г. эта кафедра избегала реорганизаций и носила неизменное название.

В настоящем кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции», образованная в 1999 году в результате объединения кафедр «Промышленное и гражданское строительство» (год основания – 1958) и «Строительные материалы и изделия» (год основания – 1962), бессменно возглавляется доктором технических наук, профессором Трещевым Александром Анатольевичем, который является Членом Национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике, Членом-корреспондентом РААСН, Экспертом РАН. Он имеет звания «Почетный строитель России», «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», Лауреат премии им. С.И. Мосина, Лауреат премии Гришманова И.А., Дважды лауреат конкурса им. Первопечатника Ивана Федорова, награжден медалью «Трудовая доблесть», медалью «Национального объединения ПРОЕКТИРОВЩИКОВ и ИЗЫСКАТЕЛЕЙ», трижды удостоен дипломов РААСН за лучшую научную работу (2006, 2009, 2019 гг.) и многими грамотами губернатора и правительства Тульской области.

С 1 октября 2014 года кафедра «Строительства, строительных материалов и конструкций»: входит в состав «Института горного дела и строительства».

Наука. В рамках научной деятельности на кафедре сформировалось пять основных научных направлений:

- механика упругопластических материалов и конструкций с усложненными свойствами (дилатация, разносопротивляемость, анизотропия, связанная термоупругость);
- механика материалов и конструкций, находящихся под воздействием агрессивных сред (наведенная неоднородность и разносопротивляемость, коррозионное разрушение и долговечность);
- совершенствование теории расчета и разработка усиления строительных конструкций;
- совершенствование составов и технологии строительных материалов на основе отходов промышленности Тульской области;
- оценка и обеспечение экологической безопасности известных и новых строительных материалов, изделий.

Лаборатория строительных материалов и изделий в рамках университетского испытательного центра регулярно проходит аккредитацию и сертификацию в органах Росстандарта. Лаборатории ежегодно выполняет договорные работы по контролю качества строительных материалов, поставляемых на объекты Тульской области по заявкам ИЛЦ ТулГУ.

Творческие коллективы кафедры регулярно подают заявки на конкурсы для выполнения НИР в рамках Национальных проектов и конкурс РФФИ, конкурс грантов молодых ученых ТулГУ, конкурс грантов Ректора ТулГУ, грантов ЮНЕСКО, грантов Российского научного фонда (РНФ).



С организацией кафедры ССМИК, которой бес­сменно руководит Трещев А.А. (более 25 лет) серьез­ное внимание им было уделено подготовке кадров высшей квалификации – докторов и кандидатов наук, и как результат, за этот период было подготовлено 6 докторов технических наук, 52 кандидата технических и физико-математических наук по специальностям: механика деформируемого твердого тела; строитель­ная механика; строительные материалы и изделия. Подавляющее большинство публикаций индексиру­ется в системах РИНЦ, Scopus, Web of Science.

Кафедра ССМИК ведет подготовку по про­граммам высшего образования бакалавриата, гото­вит магистров, аспирантов и докторантов. За годы су­

ществования кафедры и с учетом ее истоков подго­товлено более 12000 специалистов разного уровня по профилям: Промышленное и гражданское строи­тельство; Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций; Автомобиль­ные дороги и аэродромы.

Преподавательский состав: 2 профессора, доктора технических наук; 8 доцентов, кандидатов технических и физико-математических наук; 1 стар­ший преподаватель, кандидат технических наук. Профессорско-преподавательский коллектив ка­федры на 100% имеет ученые степени и по возрасту является одним из самых молодых коллективов уни­верситета.

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

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

АВТОРАМ

Автор(ы), самостоятельно направляя научную статью, принимают на себя следующие обязательства: передают редакции сетевого издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» неисключительные права на использование научной статьи путем ее воспроизведения, использования научной статьи целиком или фрагментарно в сочетании с любым текстом, фотографиями или рисунками, в том числе, путем размещения полнотекстовых сетевых версий номеров на интернет-сайте издания.

Автор(ы) несет (ут) ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор(ы) подтверждает (ют), что, направляемая статья публикуется впервые и не направлена в другое издание.

Автор(ы) согласен (ы) на обработку в соответствии со ст.6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. №152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в сетевом издании.

Автор(ы) подтверждает (ют), что направляемая научная статья не содержит сведений или информации с ограниченным доступом и для ее публикации не требуется разрешение Минобрнауки или других министерств и ведомств.

Автор(ы) научной статьи ознакомлен (ы) и согласен (ы) со следующими условиями:

- авторские права на научную статью принадлежат автору(ам) данной статьи;
- авторские права на номер сетевого издания (в целом) принадлежат учредителю сетевого издания;
- редакция сетевого издания имеет право предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
- редакция сетевого издания имеет право производить необходимые уточнения и сокращения;
- вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается, материалы научных статей, направляемые в редакцию, авторам не возвращаются.

При этом авторы имеют право использовать все материалы в их последующих публикациях при условии, что будет сделана ссылка на публикацию в нашем сетевом издании.

Если при верстке в **Индизайне** или загрузке в **РИНЦ** (*они видят всё*) у вас в статье будет обнаружено замена однотипных букв из разных алфавитов, вставлены слова в виде формул или применены в словах некорректные символы с целью увеличения оригинальности текста (к сожалению Word и Антиплагиат этого не видят) – статья будет **удалена**, а вся информация будет передана вашей организации.

*Редакция сетевого издания
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»*



ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИЯМ В ЖУРНАЛЕ

«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

(включен в категорию **K2** перечня **ВАК**, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,635)

Сайт: <https://www.expert763.ru/>

Научные специальности:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.9. – Строительная механика (технические науки);
- 1.1.8. - Механика деформируемого твердого тела (технические и естественные науки);

Размещение статей в сетевом издании платное.

Оплата производится после получения вами **сообщения** о приеме статьи к публикации, после чего автором высылается скриншот или фото оплаты через Сбербанк-онлайн или через другие банки-онлайн на адрес сетевого издания: expert763@mail.ru

Статью высылать по адресу: expert763@mail.ru

Материалы авторов (соавторов) не имеющих персональной регистрации в БД РИНЦ (SPIN-код, AuthorID) редакцией не рассматриваются, за исключением: если соавтором является доктор наук по специальности ВАК сетевого издания «Эксперт: теория и практика».

Редакция вправе отказать в размещении материалов автору, имеющему низкие наукометрические показатели в БД РИНЦ.

Структурные параметры:

Статья обязательно должна иметь элементы, отвечающие следующим параметрам:

1. Метаданные статьи на русском и английском языках (научная специальность, УДК, DOI, название статьи, знак копирайта (авторского права), **все научные идентификаторы автора**, ФИО автора полностью, должность, организация, адрес организации, личная электронная почта, аннотация и ключевые слова) – **не проверяются на антиплагиат.**

2. Тело статьи:

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

(кратко описывается проблема исследования и значение ее решения)

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты этой проблемы и на которых обосновывается автор; выделение неразрешенных ранее частей общей проблемы.

(указаны общие тенденции в том, что уже было опубликовано, указано на отдельную проблему или на перспективу развития по данной тематике)

Обосновывается актуальность исследования.

(подтверждена актуальность исследования, указано практическое значение статьи и ее вклад в науку)

МЕТОДОЛОГИЯ

Формирование целей статьи.

(указывается цель статьи)

Используемые методы, методики и технологии.

(а) описание методов, которые вы применяли конкретно для статьи, если теоретическая статья, то выбрать один метод и описать его методологию, теорию, историю, конкретно какие принципы этого метода применяли к данному исследованию;



б) описание этапов эксперимента, в) описание участников эксперимента (возраст, пол, вузы и какие площадки были охвачены)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

(а) раскрыто новшество статьи, описаны авторские наблюдения и результаты;

б) представленные результаты соответствуют заявленным целям и задачам статьи;

в) описана идея, концепция, методика, которая нашла применение (конкретика);

г) представлены результаты в виде таблиц и рисунков - названия таблиц и рисунков отвечают содержанию таблиц и рисунков)

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях.

(а) сравнили различные методы, сравнили результаты исследования с аналогичными в других статьях;

б) написали о различиях или сходстве (или и о различиях, и о сходстве);

в) сделали разбор и разъяснение результатов;

г) сделали обобщение и оценку результатов, сделали оценку достоверности полученных результатов;

д) определили место полученных в ходе исследования результатов в структуре известных знаний)

ВЫВОДЫ

Выводы исследования.

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

Перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.

(указываются направления, по которым необходимо провести дальнейшие исследования)

3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (не проверяется на антиплагиат).

(рекомендуется в списке литературы не менее 15 источников, 5 из которых за последние 5 лет (в 2023 году - это статьи 2019-2023 годов).

Технические параметры:

Названия файла:

- Фамилия город (например: **Иваненко Самара**)

Общий объем: 5-9 страниц печатанного текста формата А-4 (до списка литературы).

Стандарты: шрифт Times New Roman, **кегель – 14**, междустрочечный **интервал – 1,5**, абзацный отступ – **1 см** (это сделано для того, чтобы автор точно знал сколько страниц текста у него будет в журнале), все поля – **2 см**, литература – **В ПОРЯДКЕ ПОЯВЛЕНИЯ В ТЕКСТЕ** (желательно не менее 15 наименований, из них 5 (рекомендуется) – за последние 1-5 лет), редактор Word, тип файла – документ **Word 97-2003** (обязательно).

Ключевые слова (не менее 8 слов) и **аннотация** (не менее 150-200 слов) на русском и английском.

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

Формулы необходимо набирать в файле формата **Microsoft Word 2010** (используя опции "Вставка -> Формула"), а потом сохранять в **Word 97-2003**, в таком случае формулы становятся как картинки), размер символа - **10** (обязательно), длина формул не должна превышать **80 мм** (обязательно), латинские символы набираются курсивом, греческие – прямым шрифтом, **КИРИЛЛИЦА НЕ ДОПУСКАЕТСЯ**).

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы.

Сканированные рисунки исполнять с отдельной возможностью не менее 300 dpi.

Справочная информация:

1. Для определения УДК можно использовать следующие ссылки:

А) <http://teacode.com/online/udc/>



Условия размещения материалов

Б) <http://www.naukapro.ru/metod.htm>

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна **в системе АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее 75%, в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов):

А) <https://www.antiplagiat.ru/> (результаты хранятся у автора и высылаются по запросу редколлегии)

Статьи в обязательном порядке размещаются в системе РИНЦ – российского индекса научного цитирования (elibrary, ссылка: <http://elibrary.ru/titles.asp>), НЭБ КиберЛенинка (ссылка: <https://cyberleninka.ru>) и на сайте журнала.

Сетевое научно-практическое издание

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 2 (29) 2025 г.

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 2 (29) 2025

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

Материалы представлены в авторской редакции
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Подписано для публикации на сайте <http://expert763.ru> 27.06.2025.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 15,58.
Электронные текстовые данные (9,54 Мб). Распространяется бесплатно.

Учредитель, издатель и редакция журнала - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401,
+7(8482) 581090, <http://expert763.ru>, e-mail: expert763@mail.ru.

