

e-ISSN: 2782-7445
p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2025, №1 (28)

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.

e-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 Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), предоставлен свободный доступ к полнотекстовым материалам в базах данных: НЭБ eLIBRARY.ru, НЭБ 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, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, вице-президент по направлению «Инновации», Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, РФ)
ИСАКУЛОВ Байзак Разакович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн и строительства», «Баишев Университет» (Казахстан, Актобе)

КАПРИЕЛОВ Семен Суренович – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Российская академия Архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)
ЛЯХОВИЧ Леонид Семенович – академик РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет
ЛЯЧЕНКОВ Николай Васильевич – лауреат Государственной премии Совета министров СССР, Почетный гражданин г.о. Тольятти, действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)
МАИЛЯН Левон Рафаэлович – академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской 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 технического 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 Ministry (Moscow, Russia)

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

Andrey N. SOROCHAIKIN – Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; 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 – 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., CIRDO of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

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

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

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

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

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

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

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

Valery A. ERYSHV – 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)

Ishat 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

Поздравляем с 90-летним юбилеем академика РААСН В.В. Петрова.....	10
Поздравляем С.М. Анпилова лауреата III премии имени Б.И. Тихомирова.....	106
Поздравляем Сергея Николаевича Леоновича с присуждением Почетного звания «Почетный доктор ИжГТУ имени М.Т.Калашникова».....	111

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Оценка возможности получения керамического кирпича из продуктов техногенного происхождения АНПИЛОВ Сергей Михайлович, ИЛЬИНА Лилия Владимировна	115
Методика определения долговечности твердых тел для частного случая термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования ЕРОФЕЕВ Александр Владимирович, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович, ЕЗЕРСКИЙ Валерий Александрович, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, КАЗЬМИН Владислав Александрович.....	120
Исследование влияния наполнителей на изменение свойств и структуру наполненных эпоксидных композитов ЛАНКИНА Юлия Алексеевна, НИЗИНА Татьяна Анатольевна.....	125
Полифункциональный шламосолобетон с электропроводящим покрытием, модифицированным углеродным наноматериалом ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, САДОВСКАЯ Елена Александровна, КИМ Лев Владимирович, ШАЛЫЙ Евгений Евгеньевич, ГУО Си, ХАО Ян Хонг.....	131
Использование хвостов обогащения железистых кварцитов в производстве цветной вибропрессованной тротуарной плитки МАКЕЕВ Алексей Иванович	137
Армирование бетонных и железобетонных конструкций композитными материалами МЕРКУЛОВ Сергей Иванович, ЕСИПОВ Станислав Максимович	145
Комплексный анализ количественных значений метеорологических факторов для умеренного, субтропического, экстремально холодного и арктического климатов. Часть II. Абсолютная влажность НИЗИНА Татьяна Анатольевна, ЧИБУЛАЕВ Игорь Александрович, НИЗИН Дмитрий Рудольфович, СПИРИН Илья Петрович, ПИВКИН Николай Андреевич	150
Анализ применения методов машинного обучения в строительной отрасли НИКОЛЮКИН Алексей Николаевич, МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович	157
Состояние шлюзовых и припортовых сооружений и пути повышения их эксплуатационной надёжности ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ШАТАЛОВА Ольга Сергеевна, ЧЕШОКОВ Роман Александрович	172

АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ДВУХЭТАЖНОГО КАРКАСА ПРИ ЗАПРОЕКТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
ПОТАПОВ Александр Николаевич, СОЗЫКИНА Екатерина Сергеевна,
ДУДИН Дмитрий Евгеньевич..... 178

ДЕГРАДАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТВОРОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ
СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна 185

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «МОМЕНТ-КРИВИЗНА» В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК
ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ**
БОСАКОВ Сергей Викторович, КОЗУНОВА Оксана Васильевна..... 190

О ДИЛАТАЦИИ ГИБКИХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА ПРЕДЕЛАМИ УПРУГОСТИ
ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич, БОБРЫШЕВ Александр Анатольевич 194

Условия размещения материалов 205

CONTENT

PERSONALITIES

CONGRATULATIONS ON THE 90 TH ANNIVERSARY OF RAACS ACADEMICIAN V.V. PETROV.....	10
CONGRATULATIONS TO S.M. ANPILOV, LAUREATE OF THE III AWARD NAMED AFTER B.I. TIKHOMIROV.....	106
CONGRATULATIONS TO SERGEI NIKOLAEVICH LEONOVICH WITH HONORARY TITLE “HONORARY DOCTOR OF THE KALASHNIKOV IZHEVSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY”	111

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING CERAMIC BRICK FROM TECHNOGENIC PRODUCTS ANPILOV Sergey Mikhailovich, ILINA Liliia Vladimirovna.....	115
THE METHOD OF DETERMINING DURABILITY FOR A PARTICULAR CASE OF THERMOFLURATION CONCEPT OF DESTRUCTION AND DEFORMATION YEROFEYEV Alexander Vladimirovich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich, YEZERSKY Valery Alexandrovich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, KAZMIN Vladislav Alexandrovich	120
STUDY OF THE FILLERS EFFECT ON THE CHANGE OF PROPERTIES AND STRUCTURE OF FILLED EPOXY COMPOSITES LANKINA Yulia Alekseevna, NIZINA Tatiana Anatolyevna.....	125
POLYFUNCTIONAL SLUDGE CONCRETE WITH CONDUCTIVE COATING MODIFIED WITH CARBON NANOMATERIAL LEONOVICH Sergei Nikolaevich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, SADOVSKAYA Elena Alexandrovna, KIM Lev Vladimirovich, SHALY Evgeniy Evgenievich, Guo Xi, Hao Yun Hong	131
USE OF FERROUS QUARTZITE BENEFICIATION TAILINGS IN THE PRODUCTION OF COLOR VIBROPRESSED PAVEMENT TILES MAKEEV Aleksey Ivanovich	137
ADDITIONAL REINFORCEMENT OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS MERKULOV Sergey Ivanovich, ESIPOV Stanislav Maksimovich.....	145
COMPREHENSIVE ANALYSIS OF QUANTITATIVE VALUES OF METEOROLOGICAL FACTORS FOR TEMPERATE, SUBTROPICAL, EXTREMELY COLD AND ARCTIC CLIMATES. PART 2 "ABSOLUTE HUMIDITY" NIZINA Tatiana Anatolyevna, CHIBULAEV Igor Alexandrovich, NIZIN Dmitry Rudolfovich, SPIRIN Ilya Petrovich, PIVKIN Nikolai Andreevich.....	150
ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY NIKOLYUKIN Alexey Nikolaevich, MONASTYREV Pavel Vladislavovich	157
THE STATE OF GATEWAY AND DOCK-SIDE CONSTRUCTIONS AND WAYS TO IMPROVE THEIR SERVICE RELIABILITY PICHUGIN Anatoly Petrovich, SHATALOVA Olga Sergeevna, CHESNOKOV Roman Alexandrovich.....	172

ANALYSIS OF OSCILLATIONS OF A TWO-STORY FRAME UNDER BEYOND-DESIGN IMPACT POTAPOV Aleksandr Nikolaevich, SOZIKINA Ekaterina Sergeevna, DUDIN Dmitry Evgenievich.....	178
DEGRADATION OF CEMENT COMPOSITES BY CARBOXYLIC ACID SOLUTIONS SELYAEV Vladimir Pavlovich, KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna.....	185

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

USE OF THE MOMENT-CURVATURE RELATION IN CALCULATIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO THE SECOND GROUP OF LIMIT STATES BOSAKOV Sergey Viktorovich, KOZUNOVA Oksana Vasilyevna.....	190
ON THE DILATION OF FLEXIBLE ROUND PLATES MADE OF COMPOSITE MATERIALS BEYOND THE LIMITS OF ELASTICITY TRESHCHEV Alexander Anatolyevich, BOBRY SHEV Alexander Anatolyevich.....	194
<i>Conditions for posting materials</i>	205

ПЕРСОНАЛИИ



ПОЗДРАВЛЯЕМ С 90-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ АКАДЕМИКА РААСН В.В. ПЕТРОВА



**доктор технических наук, профессор
ПЕТРОВ ВЛАДИЛЕН ВАСИЛЬЕВИЧ**



Петров Владилен Васильевич родился 13 марта 1935 года в семье сельских учителей. После окончания средней школы №1 в городе Александро-Владимирской области он поступил в Московский инженерно-строительный институт имени В.В. Куйбышева. В студенческие годы Владилен Петров был неоднократным призером Всесоюзных конкурсов студенческих научных работ и обратил на себя внимание заведующего кафедрой строительной механики, выдающегося ученого – члена-корреспондента АН СССР Василия Захаровича Власова. После окончания института в 1957 году В.З. Власов рекомендовал В. Петрова для дальнейшего обучения в аспирантуре и предложил аспиранту попробовать свои силы в малоизученной в то время нелинейной механике тонкостенных пространственных конструкций. К сожалению, их совместная работа продолжалась недолго и всего через год в 1958 году Василий Захарович скоростно скончался.

После окончания аспирантуры В.В. Петров был направлен Минвузом для работы ассистентом в Саратовский автомобильно-дорожный институт (САДИ), но по его приезду в Саратов оказалось, что САДИ преобразован в Саратовский политехнический институт (СПИ). В этом вузе он работал ассистентом, доцентом, профессором, а начиная с 1970 года заведующим кафедрой. С 1977 года двенадцать лет В.В. Петров трудился проректором по научной работе СПИ. В это же время политехнический институт получил статус ведущего вуза страны и был награжден Орденом Трудового Красного знамени. В 1988 году коллектив института избрал В.В. Петрова ректором СПИ. Он был первым в Саратове и одним из первых в России не назначенным министерством, а избранным коллективом вуза ректором. Десять лет В.В. Петров возглавлял вуз, был председателем Совета ректоров вузов г. Саратова и членом Совета ректоров России.

На его ректорскую долю выпали «лихие» 90-е годы, однако и в эти трудные годы институт интенсивно развивался: открывались новые специальности, факультеты. В 1992 году по инициативе В.В. Петрова СПИ получил статус Саратовского государственного технического университета (СГТУ), были открыты новые специальности и организованы новые факультеты, создан рынок образовательных услуг для иностранных студентов, активизировались международные связи, была организована Высшая школа бизнеса (ВШБ), в составе СГТУ функционировал технопарк. В 1998 году В.В. Петров по своему личному заявлению уходит в отставку с поста ректора СГТУ и продолжает работу заведующим кафедрой «Механика деформируемого твердого тела» СГТУ.

Кандидатскую диссертацию на тему «*Некоторые вопросы расчета пологих оболочек при конечных прогибах*» В.В. Петров защитил в Московском авиационном институте им. Серго Орджоникидзе. В 1970 году В.В. Петров представил в ученый совет МИСИ им. В.В. Куйбышева докторскую диссертацию «*Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек*» и успешно ее защитил.

В этом же году его избрали профессором. Ему исполнилось тогда 35 лет, а в то время в таком возрасте защита докторской диссертации и избрание профессором было весьма редким событием.

Область научных интересов В.В. Петрова лежит в области создания методов расчета нелинейных тонкостенных пространственных конструкций, на основе полученных им вариантов инкрементальных дифференциальных уравнений в частных производных.

С 1980 года В.В. Петров с сотрудниками начал исследования по определению долговечности тонкостенных конструкций, работающих в агрессивной (коррозионной) среде. Воздействие агрессивных сред приводит к появлению неоднородностей, изменяющихся во времени. Этот подход привел к созданию моделей тонкостенных конструкций типа пластинок и оболочек с наведенной и развивающейся неоднородностью свойств материала и моделей расчета конструкций, расположенных на нелинейно-деформируемом основании, содержащем изменяющиеся во времени области неоднородности свойств. Результаты исследований В.В. Петрова опубликованы более чем в 300 статьях, монографиях, учебниках и учебных пособиях.

Большое внимание В.В. Петров уделял и уделяет подготовке научных кадров. Слава генератора научных идей, человека умеющего увлечь ими своих учеников прочно закрепилась за академиком В.В. Петровым. Под его непосредственным руководством подготовлено 13 докторов наук и 65 кандидатов наук. Некоторые из них уже сами возглавляют научные школы. В.В. Петров не только собрал вокруг себя талантливых учеников, в Саратов как в «Мекку» приезжали ученые из других регионов. С 1978 г. в течение 25 лет В.В. Петров возглавлял Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, в котором успешно защитили свои диссертации более 300 ученых Поволжского региона, республик Советского Союза и других городов.

18 марта 2025 года исполнится 63 года совместной жизни Владилена Васильевича с супругой Светланой Васильевной, ее забота и внимание к юбиляру во многом обеспечили сам факт данного юбилея.



ОБРАЗОВАНИЕ И КАРЬЕРА

1957 – окончил Московский инженерно-строительный институт.

1961 – окончил аспирантуру МИСИ и защитил в МАИ кандидатскую диссертацию. Был распределен на работу в Саратовский политехнический институт.

института. В эти годы институт получил статус университета и стал Саратовским государственным техническим университетом.

1990-1998 – Вице-президент ассоциации промышленных предприятий области «РОСС». Член президиума Ассоциации Российских вузов.



1969-2021 года возглавлял кафедру «Строительная механика и теория упругости» (затем – «Механика деформируемого твердого тела», затем – «Теория сооружений и строительных конструкций»).

1970 – в возрасте 35 лет защитил докторскую диссертацию.

1977-1988 – проректор Саратовского политехнического института по научной работе.

1978-2003 – возглавлял специализированный Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, в котором успешно защищено более 300 диссертаций.

1988-1998 – являлся первым в Саратове избранным ректором Саратовского политехнического

1990 – организовал в составе Университета Высшую школу бизнеса, явившуюся одной из первых школ бизнеса в России, а с 1998 г. в течение нескольких лет был ее научным руководителем.

1992 – выборщиками первоначального состава академии избран действительным членом Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

С 1992 – возглавляет Саратовское представительство Волжского отделения РААСН.

С 2019 года – председатель редакционного совета сетевого научно-практического издания «Эксперт: Теория и практика».





ОБЩЕСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В.В. Петров был одним из организаторов Саратовской торгово-промышленной палаты, с которой продолжает активно сотрудничать.

В течение 15 лет В.В. Петров возглавлял в Саратове областное отделение Общества охраны памятников истории и культуры (ВООПИК).

Являлся членом Президиума республиканского совета этого общества и награжден знаком «Почетный член ВООПИК».

Создал уникальную и широко известную в России и за рубежом научную школу, успешно разрабатывающую проблему расчета сложных инженерных сооружений с учетом нелинейных факторов и воздействия экстремальных условий эксплуатации. Научная школа саратовских механиков объединяет многих талантливых ученых и непрерывно пополняется. Тринадцать учеников профессора В.В. Петрова стали докторами наук, 65 его аспирантов успешно защитили кандидатские диссертации. Ряд его учени-

ков стали известными учеными и создали свои научные направления.

ПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЕ И ИНЫЕ НАГРАДЫ АКАДЕМИКА РААСН ПЕТРОВА В.В.

Орден «Знак Почета», Орден «Дружба народов», Медаль «За доблестный труд», Медаль в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», Медаль «Ветеран труда», Медаль «Почетный ветеран труда (За безупречный многолетний труд)», Медаль «За вклад в реализацию государственной политики в области образования», Медаль «За заслуги в сохранении наследия Отечества», Медаль «За заслуги в предпринимательстве», Памятная медаль «Дети войны».

Петров В.В. – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, Почетный работник высшего образования России, Почетный строитель России, Почетный ветеран труда, Почетный член ВООПИК, Почетный работник СГТУ, Почетный знак Российской организации ветеранов.

Уважаемый Владилен Васильевич!

Редакционный совет, редакционная коллегия сетевого научно-практического издания «Эксперт: теория и практика» искренне поздравляют Вас с юбилеем, желают Вам крепкого здоровья, благополучия и творческого долголетия!



13 МАРТА 2025 года 90-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ
ПРАЗДНУЕТ ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР
САРАТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А.,
ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА ИЗДАНИЯ
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» ВЛАДИЛЕН ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕТРОВ



Уважаемый Владилен Васильевич!

От имени всего коллектива технического университета примите самые теплые и искренние поздравления с 90-летием!

Юбилей истинного ученого — это всегда подведение итогов и еще один шаг на пути в прекрасную пору его зрелости как человека и научного деятеля. Встречая эту знаменательную дату, **Владилену Петрову**, бесспорно, есть о чем вспомнить и чем гордиться. Ведь для человека с талантом и любовью к труду не существует преград.

Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный работник высшего образования РФ, Почетный строитель РФ, Действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук, кавалер орденов «Знак почета» и «Дружбы народов», доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии» Инсти-



тута урбанистики, архитектуры и строительства **Владилен Васильевич** прошел сложный и интересный жизненный путь, неразрывно связанный с Саратовским государственным техническим университетом имени Гагарина Ю.А.

Блестящий ученый и организатор научной деятельности в 1957 году окончил Московский инженерно-строительный институт (ныне Московский государственный строительный университет им. В.В. Куйбышева), успешно обучался в аспирантуре и защитил кандидатскую диссертацию. **Владилен Петров** впитал славные традиции ведущей научной школы Советского Союза в области строительной механики, возглавляемой в МИСИ членом-корреспондентом АН СССР **Василием Захаровичем Власовым**. Затем по распределению был направлен в Саратовский политехнический институт, где прошел путь от ассистента, доцента, профессора, заведующего кафедрой строительной механики до прорек



**БЛАГОДАРНОСТЬ
ОТ РЕКТОРА СГТУ**

тора по научной работе и ректора Политеха. Он был первым в г. Саратове и одним из первых в России не назначенным министерством, а избранным коллективом руководителем вуза.

Десять лет (с 1988 по 1998 годы) **Владилен Петров** был во главе Саратовского политехнического института ордена Трудового Красного Знамени, получившего в 1992 году статус государственного технического университета. В те годы Политех уверенно развивался: открывались новые специальности и факультеты, активизировались международные связи, были созданы учебно-исследовательский центр фундаментальных наук и Высшая школа бизнеса СГТУ – одна из первых школ бизнеса в России. В течение нескольких лет **Владилен Петров** был ее директором.

Искреннее восхищение у коллег и студентов всегда вызывали высочайший профессионализм, колоссальное трудолюбие, глубокие знания, мудрость, эрудиция и преданность избранному делу **Владилена Васильевича**. В течение 50 лет он заведовал кафедрой «Строительная механика и теория упругости» СГТУ (затем – «Механика деформируемого твердого тела», сейчас – «Строительные материалы, конструкции и технологии»).

За годы работы в Политехе профессор **Петров** создал уникальную и широко известную научную школу, разрабатывающую проблему расчета сложных инженерных сооружений с учетом нелинейных факторов и воздействия экстремальных условий эксплуатации. Тринадцать его учеников стали докторами наук, более чем у 65 кандидатов наук **Владилен Васильевич** был научным руководителем. Еще при его участии был открыт набор на специальность «Строительство уникальных зданий и сооружений», которая по сегодняшний день является одной из приоритетных в выборе абитуриентов.

Научная тематика талантливого ученого СГТУ довольна широка. Это нелинейная механика твер-



**СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ЗАНЕСЕНИИ НА ДОСКУ ПОЧЕТА
ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И ОТРУДНИКОВ
«СОЗВЕЗДИЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ» СГТУ**

дого деформируемого тела (создание методов расчета тонкостенных пространственных систем с учетом геометрической и физической нелинейности и агрессивной внешней среды); инкрементальные методы линеаризации уравнений нелинейной механики; теория наведенной неоднородности (создание феноменологических моделей взаимодействия конструкций с агрессивной коррозионной средой, вызывающей нарушения внутренних связей в материале конструкции), которая позволяет определить долговечность и запас устойчивости конструкций при накоплении в них повреждений, вызванных воздействием агрессивных сред.

В жизни выдающегося академика большое место занимает не только научная, но и общественная деятельность. **Владилен Петров** – один из организаторов Торгово-промышленной палаты Саратовской области, с которой продолжает активно сотрудничать. В течение 15 лет он возглавлял Саратовское региональное отделение Всероссийского общества охраны памятников истории и культуры, является членом Президиума республиканского совета этого общества и награжден знаком «Почетный член ВО-ОПИК».

Светоч российской науки, внимательный и мудрый наставник для нескольких поколений политеховцев уделяет много времени учебно-методической работе. Им подготовлено более 240 научных работ, в том числе 6 монографий по механике и 15 по различным разделам менеджмента. Научная школа академика Петрова не стоит на месте, а продолжает развиваться и объединять лучшие умы современности.

Владилен Петров, несомненно, является воплощением самых лучших черт ученого, гражданина, настоящего патриота и интеллигента, инициировавшего целый ряд перспективных направлений научной мысли.



От всей души желаем Вам, уважаемый **Владимен Васильевич**, крепкого здоровья, счастья, добра, бодрости духа, реализации намеченных планов и дальнейшей плодотворной работы! Пусть всегда рядом с Вами будут надежные друзья, любящие родные и близкие люди!

С уважением,
ректор СГТУ имени Гагарина Ю.А.,
доктор исторических наук, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ
С.Ю. Наумов, коллектив СГТУ



Проф. Иноземцев В.К., проф. Овчинников И.Г.,
проф. Синева Н.Ф., доц. Кривошеин И.В.

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ САРАТОВСКОЙ ШКОЛЫ
НЕЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ КОНСТРУКЦИЙ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ



В 1961 году в Саратовский политехнический институт на кафедру строительной механики был распределен выпускник аспирантуры Московского инженерно-строительного института имени В.В. Куйбышева (МИСИ) Петров Владилен Васильевич. Обучаясь в МИСИ, Петров В.В. впитал традиции этой ведущей научной школы Советского Союза в области строительной механики, возглавляемой членом-корреспондентом АН СССР В.З. Власовым. В то время кафедра строительной механики МИСИ представляла собой коллектив исследователей, активно работающий в области расчета тонкостенных пространственных конструкций. На кафедру стремились приехать для обсуждения своих работ ученые из других городов Советского Союза и стран.

Начав работать в политехническом институте, Петров В.В. стремился воссоздать ту творческую научную атмосферу, которая стала естественной для него во время обучения в аспирантуре МИСИ. Постепенно вокруг Петрова В.В. образовался круг молодых исследователей, которых он увлек своими идеями в области нелинейных задач строительной механики тонкостенных пространственных конструкций. Была открыта аспирантура, приобрел популярность среди молодежи научный семинар. Так было положено начало Саратовской научной школе механики, в области исследования нелинейных задач расчета тонкостенных пространственных конструкций.

Научным руководителем аспиранта Петрова В.В. был выдающийся ученый чл.- корр. АН СССР Василий Захарович Власов. Он предложил своему ученику на выбор два направления исследований в области теории оболочек: заняться совершенствованием методов расчета оболочек в традиционной линейной постановке, либо попробовать свои силы в малоизученной в то время области – нелинейной теории тонкостенных оболочек. Петров В.В. отдал предпочтение нелинейным задачам механики, которыми он занимается всю свою жизнь в науке и которыми он «заразил» своих многочисленных учеников.

В кандидатской диссертации В.В. Петрова нашла развитие идея, высказанная В.З. Власовым, что решение нелинейных задач строительной механики можно осуществить путем последовательного решения линейных задач, например, при постепенном наращивании нагрузки до той расчетной величины, при которой возникает необходимость учета нелинейных факторов (например, прогибы конструктивного элемента становятся сопоставимыми с его толщиной). Приращение решения под действием отдельного шага нагрузки ввиду его относительной малости может быть определено из решения линеаризованного уравнения, в котором учтено напряженно-деформированное состояние, накопленное от суммарного действия всех предыдущих этапов нагружений. Этот метод в дальнейшем получил название метода последовательных нагружений Власова-Петрова. Он позволяет решать задачи напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек, а также исследовать их устойчивость. В 1959 г. этот метод был опубликован в первой научной статье В.В. Петрова.

В работах В.В. Петрова того времени был развит формальный метод линеаризации, позволяющий свести решение широкого круга нелинейных задач к последовательному решению некоторых линейных задач на каждом последовательном шаге линеаризации. Метод основан на построении дифференциала Гаусса для рассматриваемого нелинейного операторного уравнения.

Известно, что эффективность решения дифференциальных нелинейных задач зависит от удачного выбора начального приближения и подходящего итерационного сходящегося процесса для уточнения решения. Поэтому метод последовательных нагружений содержит в себе и метод построения хорошего начального приближения, что необходимо при



решении нелинейных задач. Были разработаны методики минимизации погрешностей линеаризации на основе классических подходов. Этот подход развивался В.В. Карповым – аспирантом и учеником В.В. Петрова.

Петровым В.В. была предложена модификация метода Ньютона-Канторовича, заключающаяся в построении упрощенного оператора на каждом этапе путем осреднения (по различным критериям) переменных коэффициентов, содержащихся в дифференциале Гао. Затем решение уточняется разложением решения в ряд по степеням формально вводимого параметра. Этот подход был распространен В.В. Петровым на уравнения в частных производных для конкретных задач.

Значительная часть исследований Петрова В.В. посвящена разработке и развитию вариационных и численных методов решения краевых задач нелинейной механики пластин и оболочек. Им впервые для решения нелинейных задач расчета пластин и оболочек применено сочетание метода последовательных нагружений с вариационным методом Власова-Канторовича, понижающим размерность решаемой задачи. В 1969 году В.В. Петровым применительно к нелинейным задачам предложены модификации метода Власова-Канторовича – метод вариационных итераций и метод двойной аппроксимации. Исследования в этом направлении проводились его учениками В.А. Крысько, В.В. Амельченко, И.В. Неверовым, П.К. Семеновым.

Значительный цикл работ В.В. Петрова посвящен проблеме построения аппроксимирующих функций при решении нелинейных задач вариационными методами, содержащих особенности конкретного вида нелинейностей рассматриваемых задач. Применение метода вариационных итераций решает задачу аппроксимации алгоритмически – разработанная компьютерная программа строит на каждой из вариационных итераций аппроксимирующие функции. Это направление развивали ученики В.В. Петрова, Г.Р. Коперник и Л.С. Яковлева.

В докторской диссертации В.В. Петрова «Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек», защищенной в 1970 г. в МИСИ, метод окончательно приобрел ту форму, в которой он известен как метод последовательных нагружений. Зарождение и становление Саратовской школы механики во многом основано на развитии этого метода и применении его методологии к новым задачам механики. Многие из учеников В.В. Петрова сами стали уже крупными учеными и работают над созданием своих научных направлений. Результаты изложенных выше исследований обобщены в монографии «Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек», вышедшей в 1975 г.

Успешное применение идей и алгоритмов, основанных на использовании метода последовательных нагружений, к решению сложных геометрически нелинейных задач теории оболочек позволило В.В. Петрову направить работу своих учеников на исследование форм потери устойчивости оболочек. Проблема отыскания минимальной критической нагрузки при потере устойчивости оболочек, построение отвечающих несимметричных решений, описывающих за критическое поведение оболочек – одна из сложнейших задач нелинейной теории оболочек. Оказалось, в частности, что потеря устойчивости оболочки бифуркационного типа по несимметричной форме наступает при меньших уровнях нагрузки, по сравнению с потерей устойчивости по симметричной форме (применительно к тонкостенным стержням это было известно). В этой области результаты были получены И.В. Кривошеиным, В.В. Карповым, Н.Ф. Синевай.

В этот же период метод последовательных нагружений развивался и применительно к расчету нелинейно-упругих пластин и оболочек. Результаты этих исследований были обобщены в монографии «Расчет пластинок и оболочек из нелинейно-упругого материала», опубликованной в 1976 г. в соавторстве с Овчинниковым И.Г. Объект исследования и математические модели, описывающие поведение оболочек, становятся все более сложными: многослойные и ребристые оболочки; оболочки, из неоднородных материалов; применение уточненных кинематических гипотез; задачи, расчета оболочек и пластинок из материала, по-разному сопротивляющегося растяжению и сжатию. Исследовались оболочки с разномодульными моделями, с изломом нелинейной кривой деформирования в начале координат и без ее излома (А.Ф. Макеев, И.Г. Овчинников, В.К. Иноземцев). Результаты исследований были обобщены в монографии «Деформирование элементов конструкций из нелинейного разномодульного неоднородного материала» (в соавторстве с И.Г. Овчинниковым, В.К. Иноземцевым), вышедшей в свет в 1989 г.

В этот же период проводились исследования по учету температурных воздействий на напряженное состояние пластинок и оболочек. Наряду с влиянием изменения модуля упругости и коэффициента Пуассона под воздействием температурного поля на напряженно-деформированное состояние оболочек, исследовалось и влияние изменений диаграммы деформирования при изменении температуры (В.Н. Филатов, В.В. Карпов, П.К. Семенов).

Для численного анализа нелинейного поведения конструкций был разработан метод последовательного возмущения параметров, как развитие и обобщение метода последовательных нагружений. В частных случаях тогда его называли: метод после-



довательных нагреваний, последовательных изгибаний (возмущаются параметры кривизны оболочки), последовательных изменений параметров нелинейной диаграммы материала конструкции, последовательного изменения области интегрирования, последовательного наращивания ребер жесткости и т.д. (В.Н. Филатов, В.В. Карпов, И.Г. Овчинников, А.Ф. Макеев, В.В. Кузнецов). Разработанный подход оказался эффективным и при решении задач расчета конструкций из нелинейных вязкоупругих материалов (Е.Н. Деревянкина).

Опыт, накопленный при решении задач теории оболочек с учетом двух видов нелинейности (геометрической и физической), позволил в 1980 году перейти к задачам, в которых свойства материала конструкции отличались существенной нелинейностью, неоднородностью, зависимостью от времени и других параметров. Это новый класс задач о влиянии на прочность, устойчивость и долговечность конструкций агрессивной внешней среды, которая нарушает внутренние связи в материале конструкции. В этом направлении совместно с В.В. Петровым исследования проводились И.Г. Овчинниковым, В.К. Иноземцевым, Н.Ф. Синевой, Ю.М. Шиховым, А.Ф. Макеевым, А.Ю. Салиховым, Н.В. Северюхиным, В.А. Перекрёстовым, В.А. Кожеватовой и др.

Широкие прикладные возможности метода последовательного возмущения параметров позволили разработать методику расчета гибких длинномерных конструкций на основе последовательного переноса граничных условий вдоль рассматриваемой конструкции и применения асимптотических разложений. Эти алгоритмы оказались весьма эффективными для оценки статических и динамических характеристик длинномерных элементов морских гидротехнических комплексов (В.В. Кузнецов, Д.К. Андрейченко, О.А. Торопова, Е.В. Паксютова). Эти неконсервативные задачи механики возникли в связи с проектированием и эксплуатацией современных технических средств освоения ресурсов дна Мирового океана. Результаты исследований работы глубоководных нефтеподъемников (райзеров) и трубопроводов, буксируемых плавсредством, представлены в вышедшей в 1989 г. монографии В.В. Петрова, В.В. Кузнецова, В. Н. Земерова «Механика длинномерных элементов глубоководных комплексов».

Обобщение метода последовательного возмущения параметров к задачам расчета конструкций, работающих в контакте с агрессивными рабочими средами, было сделано в монографии В.В. Петрова, И. Г. Овчинникова, Ю. М. Шихова «Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой», которая была опубликована в 1987 г. В этой монографии для расчета напряженного состояния и долговечности конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой, было пред-

ложено использовать теорию накопления повреждений. Там же была сформулирована постановка задачи о длительной прочности элементов конструкций, работающих в агрессивных средах, взаимодействующих с материалом конструкции. Научный вклад этой монографии заключается не только в развитии в развитие поставленной задачи, но и в том, что она дала мощный творческий импульс для молодых ученых и аспирантов для работы над проблемой. В результате был защищен не один десяток диссертаций, посвященных этой теме.

В рамках подхода, развиваемого в Саратовской школе нелинейной механики конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой, построены теории деформирования армированных конструкций промышленных, гражданских, транспортных сооружений, работающих в условиях воздействия реальных эксплуатационных сред. Разработаны методы расчета этих конструкций, которые широко используются при оценке эксплуатационного состояния и прогнозировании долговечности этих конструкций. Опубликовано много статей, а также ряд монографий: «Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред», «Прочность и долговечность железобетонных конструкций в условиях сульфатной агрессии», «Моделирование ползучести железобетонных элементов транспортных сооружений в агрессивных средах», «Работоспособность сталежелезобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред», «Влияние хлоридсодержащих сред на прочность и долговечность пластин на упругом основании», «Расчет элементов конструкций с наведенной неоднородностью при различных схемах воздействия хлоридсодержащих сред», «Оценка надежности железобетонных элементов конструкций деформированного мостовых сооружений», «Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов конструкций в условиях хлоридной коррозии и карбонизации».

В условиях эксплуатации конструкций в агрессивных средах материал конструкции при нагружении может стать физически нелинейным, с течением времени изменяются его физико-механические характеристики, и появляется неоднородность свойств, характер которой зависит от уровня напряженного состояния, времени взаимодействия и характеристик агрессивной внешней среды. Такая неоднородность стала называться наведенной, в отличие от неоднородности, изначально присущей конструкционному материалу. Модель такого взаимодействия становится многопараметрической. Была построена модель наведенной неоднородности, в которой учитывалось взаимное влияние процесса деградации физико-механических свойств и нели-



нейного процесса деформирования под нагрузкой. Впоследствии, с помощью введения функций деградации материала и кинетических уравнений для них была построена модель деформирования инвариантного вида по отношению к внешним воздействиям, как связанную краевую задачу с начальными задачами для описания деградации (В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева, И.В. Кривошеин). Теория наведенной неоднородности является некоторым обобщением деформационной теории пластичности на новый класс задач, когда диаграмма деформирования изменяется в точке объема в соответствии с достигнутым уровнем деградации в этой точке.

Теория пластин и оболочек с наведенной неоднородностью в силу своего эволюционного характера, учитывает историю связанного необратимого процесса деформирования материала и деградации его физико-механических свойств. Построенная теория, в частности, позволила сформулировать новую постановку задач устойчивости пластинок и оболочек. В этой постановке определяется критическое время воздействия внешней среды на материал нагруженной конструкции до наступления потери устойчивости в результате связанного процесса деформирования и деградации материала. Результаты исследований опубликованы в 1996 г. в монографии В.В. Петрова, В.К. Иноземцева, Н.Ф. Синева «Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек».

Значительный интерес представляют исследования, посвященные учету воздействия радиационных сред на поведение тонкостенных конструкций. Полученные интересные результаты в этом направлении приведены в монографии И.Г. Овчинникова, А.В. Матора, Г.А. Наумовой «Напряженно-деформированное состояние армированных элементов конструкций при воздействии радиационных полей».

Теория наведенной неоднородности, предложенная и развиваемая в работах В.В. Петрова и его учеников, позволила получить значимые результаты в ее приложении к расчету сооружений, опирающихся на неоднородные основания. Проблема совместного расчета конструкций конечной жесткости, взаимодействующих с деформируемым основанием, является одной из сложных задач строительной механики. Большое значение имеет разработка таких математических моделей, которые позволяли бы прогнозировать работу конструкций в условиях взаимодействия с основанием, свойства которого не только неоднородны, но и эта неоднородность изменяется с течением времени в процессе эксплуатации конструкции под воздействием внешних факторов климатического и техногенного характера. Такой вид формирующейся неоднородности механических свойств, называемый наведенной неоднородно-

стью, в свою очередь приводит к значительному изменению напряженно-деформированного состояния системы «конструктивный элемент – неоднородное основание». В теории наведенной неоднородности нелинейной неоднородной среды основания сам материал среды изменяет деформационные свойства и с каждым последовательным шагом теории, он становится более неоднородным, деформируется нелинейно, а наведенные изменения свойств материала зависят и от напряженного состояния в точке и от истории деформирования. В отличие от соотношений для анизотропного тела, сами коэффициенты анизотропии зависят от истории нагружения и от текущих значений напряжений в точке. Результаты этих исследований нашли отражение в монографии В.В. Петрова, В.К. Иноземцева, Н.Ф. Синева «Теория наведенной неоднородности и ее приложения к расчету конструкций неоднородном основании», которая была опубликована в 2002 г.

Критический анализ состояния грунтов в большинстве больших городов РФ выявляют основания для переоценки приоритетов градостроения. Повышающийся уровень грунтовых вод, увеличение концентрации агрессивных подземных сред и возрастание количества техногенных аварийных замачиваний оснований зданий и сооружений обосновывают необходимость разработки новых теоретических основ расчета конструкций при снижении несущей способности грунтов. Практическая значимость теории расчета неоднородных грунтовых оснований с нелинейными свойствами проявляется при исследовании современных тенденций градостроения, включающих процессы освоения подземных пространств: строительство подземных хранилищ различных веществ, включая агрессивные, строительство подземных корпусов различных производств.

Теория наведенной неоднородности физико-механических свойств конструкционных материалов нагруженных конструкций нашла применение в тех задачах, где необходим учет влияния внешних агрессивных сред на механические характеристики. Достижению успеха в этой области механики способствовало обобщение модели основания, предложенной В.З. Власовым, на модели основания, учитывающие изменение его физико-механических свойств с течением времени в условиях внешних техногенных воздействий в процессе эксплуатации. Одним из объектов приложения инкрементальной теории наведенной неоднородности является грунтовая среда оснований сооружений. Если для конструкционных материалов сложные физико-химические процессы, изменяющие их механические свойства, являются следствием особых экстремальных условий эксплуатации, то для грунтовых оснований сложное пространственное строение и поведение под нагрузкой является их естественным свойством.



Известно, что грунтовое основание под действием обычных эксплуатационных нагрузок характеризуется неоднородностью напряженного состояния, нелинейным законом деформирования, реологическими свойствами и склонностью к нарушению внутренних структурных связей. В грунтовой среде основания постоянно протекают сложные процессы, вызванные климатическими, геологическими и антропогенными факторами и они оказывают существенное влияние на прочностные и деформационные свойства грунтов, которые в свою очередь, зависят от условий их образования и напряженного состояния, истории нагружения и т.д.

Другое важное направление приложения инкрементальной теории наведенной неоднородности к моделированию поведения грунтовых сред, связано с проблемой исследования устойчивости оснований при совместном воздействии нагрузок от зданий и сооружений и сложных внутренних процессов деградации их прочностных и деформационных свойств. Потеря устойчивости основания сооружения часто может быть связана с перемещением больших масс грунта, которое приводит основание в новое состояние равновесия с возможностью (а иногда с вынужденной необходимостью) его дальнейшей эксплуатации. Совокупность этих проблем, возникающих при оценке деформативности, прочности, устойчивости и долговечности конструкций, взаимодействующих с грунтовыми основаниями и работающих в условиях деградации их физико-механических свойств, была рассмотрена с позиций моделирования на основе инкрементальной теории наведенной неоднородности. Полученные результаты и достижения научной школы В.В. Петрова в этом направлении нашли отражение в монографии Иноземцева В.К., Редкова В.И. «Математическая модель деформирования геомассивов применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений», опубликованной в 2005 г.

Экспертиза технического состояния сооружений с высоко расположенным центром тяжести, опирающихся на основания, свойства которых подвергаются агрессивным воздействиям в течение всего процесса эксплуатации (например, рамные конструкции железнодорожной эстакады налива нефтепродуктов, регенераторы стекловаренных печей и пр.) показывает, что вследствие нелинейности в них может реализовываться множество возможных историй деформирования систем. В зависимости от совокупности параметров ее состояния может произойти потеря устойчивости, или реализоваться предельное состояние по несущей способности слоя основания. Прогноз того, как поведет себя сложная нелинейная система, склонная к потере устойчивости, очень важен, и для осуществления этого прогноза необходимо выработать критерии устойчивости

процессов деформирования сложных сред. Классические критерии устойчивости строительной механики для объекта в целом дают фундаментальную основу и указывают методологию прогнозного анализа технического состояния такого объекта и связанной с ним промышленной безопасности. Проблемы устойчивости сооружений на неоднородном нелинейно деформируемом основании, влияние наведенной неоднородности основания на устойчивость сооружений исследованы в монографии В.К. Иноземцева, Н.Ф. Синёвой, О.В. Иноземцевой «Общая устойчивость сооружений на неоднородном нелинейно-деформируемом основании» (2008 г.). Работа обобщает достижения научной школы в области исследования нелинейных процессов в основаниях, определения критериев общей устойчивости деформирования объектов с высоко расположенным центром тяжести, возведенных на нелинейно деформируемых деградирующих основаниях.

Таким образом, на основе модели упругого основания Власова-Леонтьева и уравнений деформационной теории пластичности разработана модель нелинейно-деформируемого основания, учитывающая деградацию его механических характеристик, что делает основание неоднородным. Модель основания описывается инкрементальными уравнениями, позволяющими заменить решение нелинейной задачи последовательным решением линейных задач. Полагается, что деградация механических характеристик вызывается изменением уровня грунтовых вод, не предусмотренного при проектировании фундаментов сооружений. с помощью предложенного двухшагового метода последовательного возмущения параметров исследовано поведение балок и плит на нелинейном неоднородном основании в том числе и плит сложной в плане конфигурации.

Метод последовательного возмущения параметров, обладая большими прикладными возможностями, в своей инкрементальной формулировке приводит к росту погрешностей при пошаговом движении по ведущим параметрам решения нелинейной задачи. Для минимизации погрешностей в рамках инкрементального подхода к решению нелинейных задач В.В. Петров и его ученики ранее использовали интерполяционные процедуры Рунге-Кутты различного порядка точности, что нашло отражение в работах В.В. Карпова, экстраполяционные процедуры метода Адамса, а также итерационные процедуры уточнения инкрементального решения в соответствии с методом Ньютона-Канторовича или модифицированного метода Ньютона-Канторовича (работы В.В. Петрова и И.В. Кривошеина). Однако применение перечисленных методик уточнения инкрементального решения увеличивало трудоемкость решения нелинейных задач и усложняло алгоритм решения.



Существенным вкладом В.В. Петрова в методологию решения нелинейных краевых задач теории оболочек и пластин явился предложенный им в 2001 г. инкрементальный «двухшаговый метод последовательного возмущения параметров». Основной идеей метода явилось получение на шаге возмущения ведущего параметра решения двух решений, соответствующих начальным и конечным значениям жесткостей. Это приводит к попаданию точного решения нелинейной задачи в «вилку» двух получаемых решений и к возможности конструирования на основе физических соображений уточненного инкрементального решения из решения «с недостатком» и решения «с избытком».

Одно из направлений Саратовской научной школы связано с расширением спектра методов решения нелинейных задач строительной механики. Так, в 2004 году была предложена модификация метода решения краевых задач – метода Бицено-Коха (МБК). В классическом варианте МБК коэффициенты в рядах координатных систем искомым функций определяются из условий обращения в ноль невязок решений интегрально в каждой из подобластей, составляющих область оболочки или пластинки. Критический анализ получаемых при этом решений показал, что значительное влияние на точность получаемых результатов оказывают большие локальные невязки решений, концентрирующиеся в углах и вблизи середин сторон прямоугольных областей. Предложенная модификация метода заключается в определении коэффициентов в рядах координатных систем искомым функций из условий обращения в ноль невязок решений интегрально в каждой из уменьшенных подобластей (И.В. Кривошеин).

Заметим, что расширившиеся возможности вычислительной техники позволили по-иному взглянуть на традиционные методы решения нелинейных задач строительной механики. В рамках данного подхода исследовались разнообразные задачи по определению долговечности изгибаемых нелинейно деформируемых пластинок и пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности в агрессивной среде.

Для решения нелинейных задач механики твердого деформируемого тела разработан двухшаговый метод последовательного возмущения параметров, позволяющий на каждом шаге нагружений определить интервал, внутри которого находится точное решение задачи. Применение этого метода позволяет получить более точное решение при сокращении временных затрат на его получение. Показано, что уравнения метода последовательного возмущения параметров представляют собой дифференциал Фреше исходного нелинейного оператора решаемой задачи. Предложена модификация метода последовательных нагружений, в котором начальное прибли-

жение строится методом последовательных нагружений, а уточнение решения выполняется методом Ньютона-Канторовича. Эта модификация характеризуется быстрой сходимостью во всем рассматриваемом диапазоне изменения нагрузки.

Последние 15 лет научные исследования продолжались в области разработки методов расчета физически и геометрически нелинейных задач теории пластинок и оболочек. Работа проводилась в соответствии с планом фундаментальных исследований РААСН. Не соблюдая хронологическую последовательность, изложим результаты исследований, объединив их в несколько групп.

1. Развитие инкрементального метода решения нелинейных задач

Предложена модификация метода Бицено-Коха, применяемого для решения линейных задач, к задачам нелинейной механики пластинок и оболочек и исследованы его возможности при расчете нелинейно-упругих пластинок и пологих оболочек.

Построены инкрементальные соотношения для физически нелинейного материала с развивающейся со временем неоднородностью свойств, вызванной взаимодействием материала конструкции с агрессивными (коррозионными) средами. Эти уравнения использованы для вывода уравнений изгиба пластинок и пологих оболочек, решение которых позволяет расчетным путем определить долговечность конструкций.

2. Долговечность пластинок и оболочек в коррозионной среде

Получены инкрементальные уравнения для исследования НДС замкнутых призматических оболочек, выполненных из нелинейно-деформируемого материала. Двухшаговым методом последовательного возмущения параметров исследовано влияние физической нелинейности материала на НДС прямых призматических оболочек при изменении их геометрических характеристик. Разработана методика определения долговечности этих конструкций при учете воздействия на них агрессивной эксплуатационной среды.

Предложена методика расчета долговечности пластинок и пологих оболочек из нелинейно-деформируемого материала с учетом воздействия агрессивной эксплуатационной среды. Рассмотрены случаи, когда с течением времени опасное состояние оболочек характеризуется потерей несущей способности или вследствие потери устойчивости.

3. Устойчивость нелинейно деформируемых гибких пологих оболочек

С помощью полученных инкрементальных уравнений, учитывающих наличие и геометрической и физической нелинейности, выполнен цикл работ



по созданию методики расчета оболочек на устойчивость. Предложен алгоритм расчета на устойчивость нелинейно деформируемых гибких цилиндрических панелей под действием сжимающих контурных нагрузок. Исследована прочность и устойчивость гибких пологих оболочек при вертикальных смещениях углов контура. Выявлены условия реализации бифуркационных несимметричных форм потери устойчивости нелинейно деформируемых гибких пологих оболочек в условиях полной симметрии, как нагрузки, так и граничных условий. Это важная для практики проблема, так как нагрузка, соответствующая несимметричной форме потери устойчивости заметно меньше той нагрузки, при которой потеря устойчивости происходит по симметричной форме. Исследовано влияние геометрических факторов и неоднородности материала по толщине на устойчивость нелинейно деформируемых пологих оболочек двойной кривизны.

4. Расчет неоднородных пластинок и оболочек

Получены инкрементальные уравнения нелинейной механики *неоднородных* пластинок и пологих оболочек и разработан алгоритм расчета этих конструкций с учетом физической нелинейности материала.

Развивается физически и геометрически нелинейная теория пластин и оболочек, в которых теми или иными технологическими приемами произведено упрочнение поверхностных слоев и создана технологическая неоднородность. На основе анализа экспериментальных данных вводится функция неоднородности, на которую умножается кривая деформирования. На основе этого положения строятся инкрементальные физические уравнения и разрешающие уравнения изгиба пластинок и оболочек. Исследовано влияние технологической неоднородности на прочность и устойчивость пластинок и оболочек. Выявлено сильное влияние технологической неоднородности на распределение напряжений по толщине конструкции, что открывает возможность создавать новые эффективные конструкции из легких пористых материалов.

Предложена методика расчета долговечности пластинок и оболочек с упрочненными поверхностями, эксплуатируемых в агрессивной для материала среде, с учетом геометрической и физической нелинейностей.

НАУЧНАЯ ШКОЛА

АКАДЕМИКА РААСН В.В. ПЕТРОВА

К настоящему времени В.В. Петров подготовил 13 докторов и 65 кандидатов наук. Кандидатские диссертации защитили:

• В.А. Крысько. Применение вариационного метода В. З. Власова к исследованию напряженного

и деформированного состояния гибких изотропных и ортотропных пластинок. Саратов, 1967.

• И. В. Неверов. Решение нелинейных задач теории пологих оболочек на основе вариационного метода В. З. Власова. Саратов, 1967.

• В. Н. Филатов. Исследование поведения гибких пластин в температурном поле при учете зависимости модуля упругости и коэффициента теплового расширения материала от температуры. Саратов, 1970.

• В. В. Карпов. Модификации метода последовательных нагружений и их применение к расчету гибких пластин и оболочек на действие нагрузки и температурного поля. Саратов, 1973.

• Л. Ф. Парфенова. Динамический расчет двух поясных систем. Саратов, 1973.

• И. Г. Овчинников. Вопросы расчета цилиндрических оболочек из нелинейно-упругого материала. Саратов, 1974.

• Л. В. Яковлева. Исследование напряженно-деформированного состояния гибких пластинок при действии произвольной поперечной нагрузки. Саратов, 1975.

• В. В. Неверов. Решение задач упруго-пластического изгиба пластин и пологих оболочек на основе метода пересчёта жёсткостных характеристик и метода вариационных итераций. Саратов, 1975.

• В. И. Будынков. Разностно-вариационные методы расчёта регулярных и квазирегулярных стержневых систем типа пластин и плоских рам. Саратов, 1979.

• В. К. Иноземцев. Некоторые вопросы прочности и устойчивости двухслойных пологих оболочек. Саратов, 1980.

• В. В. Кузнецов. Использование метода возмущения области интегрирования при решении нелинейных краевых задач теории гибких пластин и оболочек. Саратов, 1982.

• Н. Ф. Синева. Устойчивость форм равновесия гибких пологих оболочек с низкой сдвиговой жесткостью. Саратов, 1982.

• В. А. Перекрестов. Расчет долговечности конструктивных элементов при воздействии агрессивных сред. Саратов, 1985.

• Т. Д. Побежимова. Упругопластическое деформирование пластин и пологих оболочек при переменном нагружении. Саратов, 1987.

• О. Н. Околеснова. Применение метода возмущения области интегрирования в связанных задачах гидроупругости стержневых систем. Саратов, 1990.

• Р. В. Атоян. Расчёт замкнутых цилиндрических оболочек с наведённой переменной толщиной, работающих в условиях грунтовой коррозии. Саратов, 1997.



• **О. В. Пенина.** Расчёт долговечности нелинейно-упругих пластинок, изгибаемых в агрессивных средах. Саратов, 2009.

• **П. В. Селяев.** Расчёт долговечности призматических оболочек с учётом воздействия агрессивной среды. Орёл, 2009.

Под научным руководством и научном консультировании Петрова В. В. также защитили кандидатские диссертации: А. А. Гильман, Е. Н. Деревянкина, И. В. Кривошеин, А. Ф. Макеев, О. Р. Кузнецов, П. К. Семёнов, С. М. Шашков, А. Ю. Салихов, Г. А. Гончарова, Е. В. Паксютова, Г. Р. Коперник, Ю. А. Мамтеев, И. А. Сабитов, В. М. Кожеватова, И. П. Кубасова, О. А. Торопова, О. А. Мягкова, А. М. Титова, А. Н. Рогов, А. Г. Маркушин, Г. А. Питерцева, Д. К. Андрейченко, Е. А. Петрунина, И. Р. Садыхов, Е. Б. Гарбуз, А. А. Землянский, Т. С. Хучраева, Н. А. Косян, Е. А. Козырева, А. Г. Федорова, Г. В. Паницкова, Н. А. Страшнова, Е. Д. Волжнов, К. П. Семёнов, Т. В. Магальян, П. Ф. Недорезов, Н. В. Северюхин, О. В. Канаева, Л. В. Гончарова, А. В. Рассада, В. Э. Фролов, С. И. Никишов.

Петров В. В. являлся научным консультантом, докторские диссертации защитили:

• **В. А. Крысько.** Нелинейная статика и динамика неоднородных пологих оболочек прямоугольных в плане. Москва, 1978.

• **В. В. Неверов.** Вариационный метод супертерации в технической теории сложного нагружения пластин и оболочек. Ленинград, 1987.

• **В. В. Карпов.** Статика и динамика пластин и пологих оболочек дискретно-переменной толщины при конечных прогибах. Ленинград, 1988.

• **И. Г. Овчинников.** Расчетные модели и методы расчёта элементов конструкций, работающих при воздействии агрессивных сред. Москва, 1988.

• **В. В. Кузнецов.** Метод параметризации граничных условий в краевых задачах нелинейной механики деформируемых сред. Ленинград, 1990.

• **В. К. Иноземцев.** Прочность и устойчивость пластин и оболочек из нелинейно-деформируемого материала с наведенной неоднородностью физико-механических свойств. Москва, 1991.

• **Е. Н. Артамонова (Деревянкина).** Долговечность пластин и оболочек из нелинейного вязкоупругого материала с учётом деградации его физико-механических свойств. Саратов, 1996.

• **Н. Ф. Синева.** Инкрементальная теория наведенной неоднородности и её приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек при деградации свойств материала. Саратов, 1996.

• **В. Н. Кузнецов.** Метод последовательного возмущения параметров в приложении к расчёту динамической устойчивости тонкостенных оболочечных конструкций. Саратов, 2000.

• **В. Н. Филатов.** Термоупругость пластин и пологих оболочек переменной толщины при конечных прогибах. Саратов, 2001.

• **Д. К. Андрейченко.** Математическое моделирование дискретно-континуальных механических систем. Саратов, 2001.

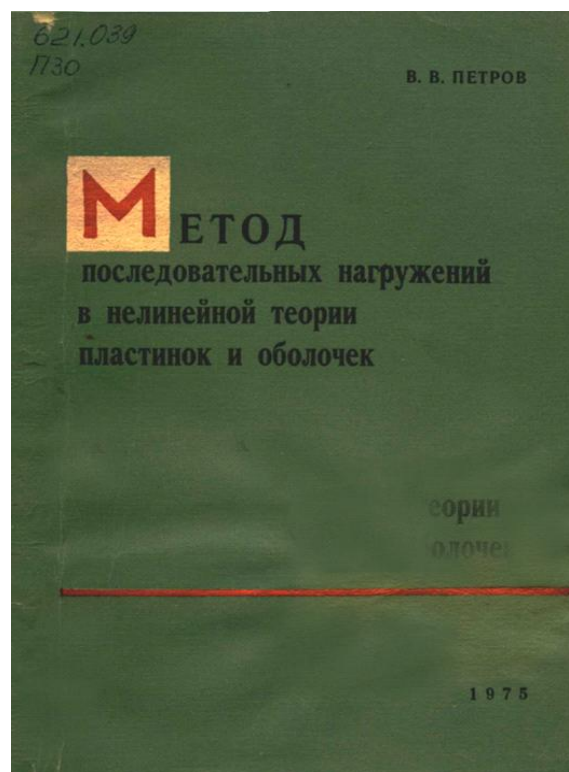
• **А. А. Землянский.** Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров. Саратов, 2005.

• **В. В. Галишникова.** Обобщенная геометрически нелинейная теория и численный анализ деформирования и устойчивости пространственных стержневых систем. Москва, 2011.

МОНОГРАФИИ, УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

За указанный выше период научной школой академика РААСН Петрова В.В. было опубликовано более 200 научных статей и 30 учебных пособий, 3 научных монографии по нелинейной механике, в том числе:

• **В.В. Петров.** Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек: монография / В. В. Петров, - Саратов: Изд-во СГУ, 1975. Усл. печ. л. 7,5.



• **В.В. Петров.** Расчет пластинок и оболочек из нелинейно-упругого материала: монография / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, В.И. Ярославский. Саратов: Изд-во СГУ, 1976. Усл. печ. л. 8,5.



В.В. Петров. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой: монография / В. В. Петров, И. Г. Овчинников, Ю. М. Шихов. - Санкт-Петербург: Изд-во СГУ, 1987. - 228 с.

В.В. Петров. Механика длинномерных элементов глубоководных комплексов: монография / В.В. Петров, В.В. Кузнецов, В.Н. Земеров. Саратов: Изд-во СГУ, 1989. Усл. печ. л. 11,1.

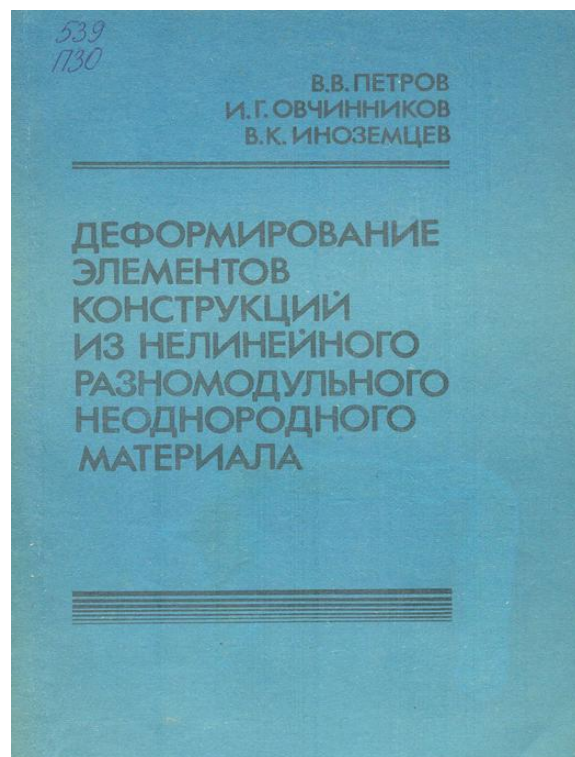
В.В. Петров. Применение плазменного напыления в производстве имплантов для стоматологии: монография / В.Н. Лясников, В.В. Петров, В.Р.

В.В. Петров. Деформирование элементов конструкций из нелинейного разно модульного неоднородного материала: монография / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, В.К. Иноземцев. Саратов: Изд-во СГУ, 1989. Усл. печ. л. 9,2.

В.В. Петров. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек: монография / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. Саратов: Изд-во СГУ, 1996. Усл. печ. л. 19,2.

В.В. Петров. Применение вариационных методов к расчету пластин: учебное пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошейн. Саратов: Изд-во СГУ, 1999. Усл. печ. л. 5,0.

В.В. Петров. Основы маркетинга. Цикл лекций – бесед. Учебное издание / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 1999. Усл. печ. л. 8,3.



В.В. Петров. Общий менеджмент. Цикл лекций – бесед. Учебное издание / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2000. Усл. печ. л. 21,25.

В.В. Петров. Основы строительной механики оболочек и пластин: учебное пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошейн. Саратов: Изд-во СГУ, 2000. Усл. печ. л. 10,0.



В.В. Петров. Школы менеджмента. Модуль 1. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2003. Усл. печ. л. 9,5.

В.В. Петров. Теории мотивации. Модуль 2. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2003. Усл. печ. л. 5,5.

В.В. Петров. Теории Лидерства. Модуль 3. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2003. Усл. печ. л. 6,62.

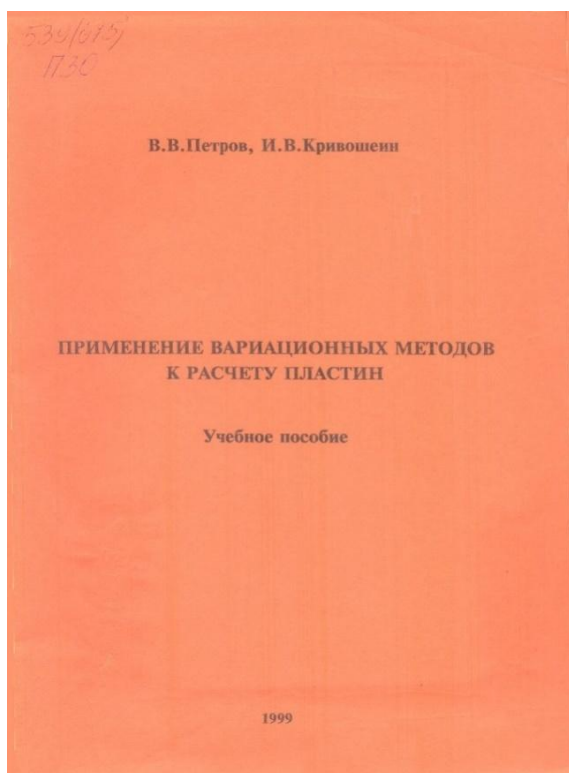
В.В. Петров. Стратегический менеджмент. Модуль 4. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2003. Усл. печ. л. 11,4.

В.В. Петров. Стратегическое управление. Модуль 4. Учебное издание / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2004. Усл. печ. л. 18,0.

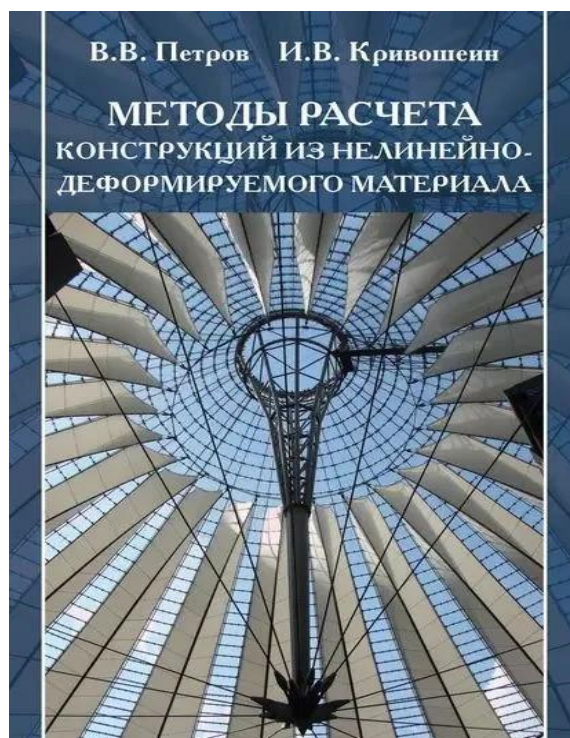
В.В. Петров. Инновационный менеджмент. Часть первая. Модуль 5. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2005. Усл. печ. л. 31,5.

В.В. Петров. Расчет балок и плит на упругом неоднородном основании: учебное пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошейн. Саратов: Изд-во СГУ, 2005. Усл. печ. л. 5,0.

В.В. Петров. Методы расчета балок и пластинок из нелинейно-деформируемого материала: учебное пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошейн. Саратов: Изд-во СГУ, 2007. Усл. печ. л. 9,25.



В.В. Петров. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к расчету конструкций на неоднородном основании: научное издание / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. Саратов: Изд-во СГУ, 2002. Усл. печ. л. 16,25.



В.В. Петров. Управление развитием персонала организации. Модуль 6. Учебное пособие / В.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2008. Усл. печ. л. 13,5.



В.В. Петров. Управление культурой организации. Модуль 7. Учебное пособие / В.В. Петров, Д.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2008. Усл. печ. л. 14,25.

В.В. Петров. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала: учебное пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошейн. Москва: Изд-во АСВ, 2009. 208 с. ISBN 978-5-93093-627-8.



В.В. Петров. Стратегический менеджмент: ключевые проблемы. Учебное пособие / В.В. Петров,

Д.В. Петров. Саратов: Изд-во СГУ, 2011. Усл. печ. л. 14,25.

В.В. Петров. Управление изменениями в организации / Учебное пособие / В.В. Петров, В.В. Даньшина. Саратов: Изд-во СГУ, 2012. Усл. печ. л. 13,5.

В.В. Петров. Нелинейная инкрементальная строительная механика. М.: Изд-во Инфра-Инженерия. 2014. 480 с.

В.В. Петров. Теория и расчет пластинок и оболочек. Ч. 1. Расчет упругих пластинок. Учебное пособие. СГТУ. 2014. 164 с.

В.В. Петров. Теория и расчет пластинок и оболочек. Ч. 2. Расчет упругих оболочек. Учебное пособие. СГТУ. 2015. 132 с.

В.В. Петров. Нелинейная строительная механика. Ч. 1. Физическая нелинейность. Учебное пособие. СГТУ. 2015. 168 с. - ISBN 978-5-7433-2927-4.

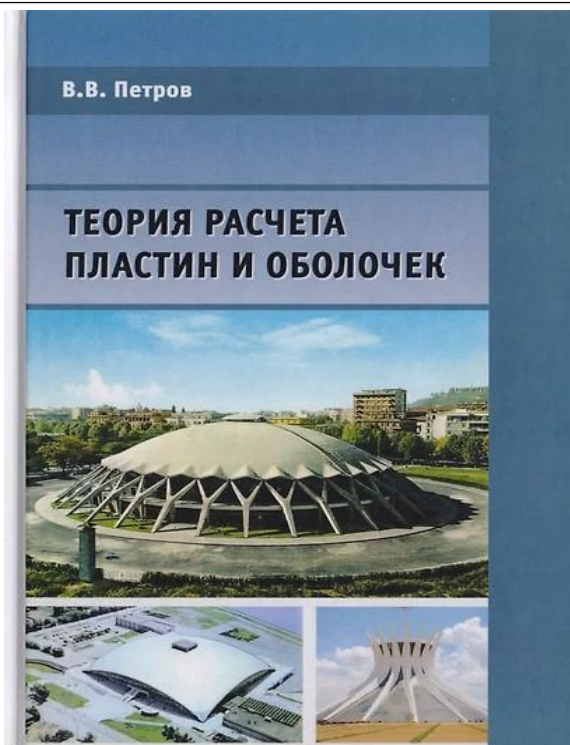
В.В. Петров. Нелинейная строительная механика. Ч. 2. Геометрическая нелинейность. Учебное пособие. СГТУ. 2016. 152 с. - ISBN 978-5-7433-3025-6.

В.В. Петров. Нелинейная инкрементальная строительная механика. М.: Изд-во Инфра-Инженерия. 2017. 480 с.- ISBN 978-5-9729-0076-3.

В.В. Петров. Теория расчета пластин и оболочек. Учебник (с грифом РААСН). Изд-во АСВ, Москва. 2018. – 410 с. ISBN 978-5-4323-0242-7.



В.В. Петров. Нелинейная строительная механика. Учебное издание (с грифом РААСН). Изд-во АСВ, Москва. 2019. – 432 с.



В.В. Петров. Нелинейная инкрементальная строительная механика : монография / В. В. Петров. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Инфра-Инженерия, 2020. - 484 с. - ISBN 978-5-9729-0405-1.

В.В. Петров. Теория расчета пластин и оболочек (издание второе, дополненное). Учебник. Изд-во АСВ, Москва. 2022—440 с.

В.В. Петров. Нелинейная строительная механика (издание второе, дополненное). Учебник (с грифом РААСН). Изд-во АСВ, Москва. 2024. — 504 с. ISBN 978-5-4323-0305-9.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ТРУДОВ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА РААСН В.В. ПЕТРОВА

1. К расчету пологих оболочек при конечных прогибах // Строительство: научн. докл. высш. школы. - М., 1959. - Вып. 1. - С. 27-34.

2. Исследование конечных прогибов пластин и пологих оболочек методом последовательных нагружений // Теория пластин и оболочек: Тр. I Всесоюз. конф. / АН УССР. - Киев, 1962. - С. 328-331.

3. Исследование напряженного состояния пластин и пологих оболочек при конечных прогибах методом последовательных нагружений // Прикладна механіка / Ін-т механіки АН УССР. - Киев, 1962. - Т. VII. Вып. 4. - С. 352-357.

4. Устойчивость пологих оболочек, находящихся под действием сил, приложенных на контуре // Прикладна механіка / Ін-т механіки АН УССР. - Киев, 1964. - Т. X. Вып. 3. - С. 247-253.

5. Расчет пологих оболочек в температурном поле при конечных прогибах с учетом изменения

свойств материала от нагреваний // Тр. молодых ученых: Материалы межвуз. конф. - Саратов, 1965. - С. 281-288.

6. Вопросы применения метода В. З. Власова к решению уравнений методом последовательных нагружений для гибких пластинок и оболочек // Тр. VI Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. - М., 1966. - С. 56-61. - Соавт.: В.В. Амельченко, В.А. Крысько, И.В. Неверов.

7. Расчет гибких пластинок и пологих оболочек вариационным методом В. З. Власова // Прикладная механика / АН УССР. - 1966. - Т. П. Вып. 5. - С. 50-57.

8. К построению решений геометрически нелинейных задач теории оболочек и пластин // III Всесоюз. съезд по теоретической и прикладной механике. - М., 1968. - С. 240-241.

9. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. - 1968. - № 2. - С. 63-69.

10. Некоторые вопросы расчета пологих оболочек при больших прогибах вариационным методом В.З. Власова // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. - 1968. - №12. - С. 22-28. - Соавт.: И.В. Неверов, В.В. Амельченко.

11. Применение градиентного метода Л.В. Канторовича к расчету гибких пластинок и оболочек // Теория расчета и надежности приборов: Сб. ст. / СГУ. - Саратов, 1969. - С. 3-10. - Соавт. Ю. В. Бетев.

12. Решение нелинейных задач теории пологих оболочек путем вариационных итераций // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. - 1969. - №3. - С. 62-68. - Соавт.: В. В. Амельченко, И. В. Неверов.

13. Вопросы расчета пластинок с учетом физической нелинейности материала // Материалы XXX науч.-техн. конф. / СПИ. - Саратов, 1970. - С. 126-128.

14. Исследование закритических деформаций пластинок и оболочек вариационным методом В. З. Власова // Материалы юбил. конф., посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. - Саратов, 1970. - С. 2-8.

15. К вопросу выбора аппроксимирующих функций при расчете гибких пластинок вариационными методами // Контактные и динамические задачи теории упругости. Пластинки и оболочки: Науч. тр. / СПИ. - Саратов, 1970. - Вып. 49. - С. 57-63. - Соавт. Л. С. Яковлева.

16. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек // Контактные и динамические задачи теории упругости. Пластинки и оболочки: Науч. тр. / СПИ. - Саратов, 1970. - Вып. 49. - С. 50-57.

17. Расчет гибких пластинок вариационным методом В. З. Власова // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1970. - № 12. - С. 46-49. - Соавт. В. Н. Филатов.



18. Применение общего вариационного метода Власова к расчету кузова фургона на изгиб // Некоторые задачи прикладной теории упругости: Сб. тр. / СПИ. - Саратов, 1971. - С. 111-118. - Соавт.: О. Я Соколов, Ю. К. Фурцев.
19. Цилиндрический изгиб пластинок из нелинейно-упругих материалов / Некоторые задачи прикладной теории упругости: Сб. тр. / СПИ. - Саратов, 1971. - С. 39-43. - Соавт. В. Я. Ярославский.
20. Об одном варианте построения последовательных приближений в теории гибких пластинок // Расчет пространственных систем в строительной механике: Сб. ст. / СГУ. - Саратов, 1972. - С. 17-22.
21. Об одном способе решения задач теории гибких пологих оболочек // Расчет пространственных систем в строительной механике: Сб. ст. / СГУ. - Саратов, 1972. - С. 12-17. - Соавт. Г. Р. Коперник.
22. Об одной методике аналитического решения граничных задач геометрически нелинейной теории пологих оболочек // Теоретична и приложна механика. - София, 1973. - Т. IV. N 3. - С. 15-20. - Соавт. Ю. В. Бетев.
23. Применение метода двойной аппроксимации к решению температурных задач изгиба прямоугольных пластинок // Химическое машиностроение: Сб. ст. / НИИХиммаш. - М., 1973. - Вып. 65. - С. 74-78. - Соавт.: М. М. Бородин, М. В. Данилов, И. А. Ивановский.
24. Изгиб нелинейно-упругой пластинки, имеющей сложный контур // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1974. - Вып. 2. - С. 42-48. - Соавт. А. А. Гильман.
25. К вопросу расчета пластинок и пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1974. - Вып. 1. - С. 123-131.
26. О построении аппроксимирующих функций при расчете гибких пластинок и пологих оболочек вариационными методами // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1974. - Вып. 1. - С. 117-123. - Соавт. Г. Р. Коперник.
27. Об одном алгоритме численного решения задач нелинейной теории пластинок и оболочек // Исследования по нелинейным задачам теории пластин и оболочек. - Саратов, 1974. - С. 42-49. - Соавт. В. В. Карпов.
28. Применение метода характеристик к исследованию гибких пластинок // Исследования по нелинейным задачам теории пластин и оболочек: Сб. ст./СГУ. - Саратов, 1974. - С. 102-112. - Соавт. Л. С. Яковлева.
29. Способ построения аппроксимирующих функций для тангенциальных перемещений при расчете гибких пластин вариационным методом // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1974. - Вып. 2. - С. 99-104. - Соавт.: Г. Р. Коперник, Л. С. Яковлева.
30. Деформация пластинок и пологих оболочек из квазилинейного вязкоупругого материала // Тр. X Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. - Тбилиси, 1975. - С. 395-404. - Соавт. Е. Н. Деревянкина.
31. Исследование несимметричной потери устойчивости пологих оболочек на прямоугольном плане // Тр. X Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. - Тбилиси, 1975, - С. 628-634, - Соавт.: В. В. Карпов, И. В. Кривошеин.
32. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек на прямоугольном плане. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. -119 с.
33. Об одном аналитическом методе расчета гибких пластинок на действие произвольной нагрузки // Тр. IX Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. - Л., 1975. - С. 329-331.- Соавт. Л.С. Яковлева.
34. Уточнение решений при использовании шаговых методов в теории гибких пластинок и оболочек // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. - 1975. - № 5. - С. 189-191. - Соавт. В.В. Карпов.
35. Несимметричные формы потери устойчивости гибких цилиндрических панелей // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. Саратов, 1976. - Вып. 4. -С. 120-129. - Соавт. И. В. Кривошеин.
36. Расчет гибких вязкоупругих пластинок методом последовательного улучшения решения // Исследования по расчету строительных конструкций: межвуз. науч. сб. / ЛИСИ. -Л., 1976. - Вып. 1 (120). - С. 49-55. - Соавт. В. Н. Деревянкина.
37. Расчет пластинок и оболочек из нелинейно-упругого материала. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1976. - 136 с. - Соавт.: И. Г. Овчинников, В. И. Ярославский.
38. Уравнение изгиба пластинки из нелинейного вязко-упругого материала с учетом сжимаемости // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1976. -Вып. 4. - С. 81-87. - Соавт. Е. Н. Деревянкина.
39. Исследование гибких прямоугольных пластин, нагруженных по части поверхности, на основе некоторых вариантов уравнений равновесия // Вычислительная физика: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1977. - Вып. 1. - С. 90-94. - Соавт. И. В. Кривошеин.
40. Кручение и изгиб прямого призматического кессона из нелинейного вязкоупругого материала // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1977. - Вып. 1. - С. 48-54. - Соавт. О. Р. Кузнецов.



41. Некоторые вопросы расчета нелинейно-упругих цилиндрических оболочек // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1977. - Вып. 1. - С. 33-42. - Соавт. А. Н. Рогов.
42. Расчет гибких пологих оболочек при совместном действии поперечной нагрузки и температурного поля с учетом изменения механических свойств материала при нагревании // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1977. - Вып. 3. - С. 104-112. - Соавт.: В. В. Карпов, В. Н. Филатов.
43. Устойчивость симметричных форм деформирования пологих оболочек, прямоугольных в плане // Тр. Междунар. конф. по облегченным пространственным конструкциям покрытий для строительства в обычных и сейсмических районах. - М., 1977. - С. 97-102.
44. Экспериментальное определение собственных частот и форм колебаний пластинок методом пятности // Проблемы прочности. - 1977. № 6. - С. 96-98. - Соавт.: Н.М. Обычев, А.В. Вышемирский.
45. Экспериментальное определение собственных частот и форм колебаний пластинок сложной формы // Теоретические и экспериментальные методы анализа надежности конструкции ЭВЛ. - М., 1977. - Вып. 1 (75). - С. 62-68. - Соавт.: Н.М. Обычев, Б.А. Софинский.
46. Осесимметричный изгиб круговой цилиндрической оболочки из разно сопротивляющегося нелинейно-упругого материала // Нелинейные задачи строительной механики. Оптимизация конструкций: Тр. Всесоюз. конф. / КИСИ. - Киев, 1978. - С. 142-145. - Соавт.: А. Ф. Макеев, И. Г. Овчинников.
47. Особенности применения модифицированного метода Ляпунова к расчету нелинейно-упругих прямоугольных пластинок // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1978. - Вып. 5. - С. 82-90. - Соавт. И. Г. Овчинников.
48. Дифференциальные уравнения призматических оболочек с учетом геометрической нелинейности // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1979. - Вып. 2. - С. 65-68.
49. Изгиб прямого призматического кессона из нелинейного вязкоупругого материала // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1979. - Вып. 6. - С. 44-50. - Соавт. О. Р. Кузнецов.
50. Сравнение некоторых методов линеаризации уравнений теории гибких пологих оболочек // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1979. - Вып. 2. - С. 148-153. - Соавт. И. В. Кривошеин
51. Изгиб прямоугольных пластинок из нелинейно-упругого разно сопротивляющегося растяжению и сжатию материала // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. - 1980. - № 8. - С. 42-47. - Соавт: А.Ф. Макеев, И. Г. Овчинников.
52. Об одном методе расчета пластинок и оболочек путем сведения к обыкновенным дифференциальным уравнениям // Проблемы расчета пространственных конструкций: Сб. науч. тр. / МИСИ. - М., 1980. - С. 134-142.
53. Дифференциальные уравнения призматических оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности // Механика деформируемых сред: Межвуз. науч. сб. / СГУ. - Саратов, 1982. - Вып. 7. - С. 9-13.
54. Определение долговечности элементов конструкций, взаимодействующих агрессивной средой // Строительная механика и расчет сооружений. - 1982. - № 2. - С. 13-18. - Соавт. И. Г. Овчинников.
55. Расчет нелинейно-упругих пластинок обобщенным методом Власова-Канторовича / Изв. вузов. Стр-во и архитектура. - 1982. - № 2. - С. 16-21. - Соавт. П. К. Семенов.
56. Уравнения изгиба и кручения замкнутых кусочно-гладких оболочек, прямоугольных в плане // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1982. - Вып. 3. - С. 28-34. - Соавт. Г. А. Гончарова.
57. Устойчивость форм равновесия пологих оболочек, прямоугольных в плане // Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1982. - Вып. 3. - С. 21-27. - Соавт. И. В. Кривошеин.
58. Математическое моделирование процесса взаимодействия элементов конструкций с агрессивными средами // Деформирование материалов и элементов конструкций в агрессивных средах: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1983. - С. 3-11. - Соавт. И.Г. Овчинников.
59. Некоторые вопросы применения обобщенного метода Власова-Канторовича к расчету нелинейно-упругих пластин // Тр. XIII Всесоюз. конф. по теории пластин и оболочек. -Таллин, 1983. - Т. IV. - С. 71-77. - Соавт. П. К. Семенов.
60. Построение расчетных моделей для оценки работоспособности тонкостенных конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами // Тр. Всесоюз. совещ. по теории упругости неоднородных тел. - Кишинев, 1983. - С. 44-45. - Соавт. И. Г. Овчинников.
61. Применение метода укрупненного элемента для расчета прямых замкнутых призматических оболочек, изготовленных из вязкого нелинейно-упругого материала // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. - 1983. - № 7. - С. 33-36. - Соавт. О.Р. Кузнецов.
62. Кинетическое уравнение процесса накопления повреждений нелинейного разно модульного материала // Тр. XIII Всесоюз. конф. по прочности и пластичности / Ин-т механики сплошных сред. - Пермь, 1984. - С. 13-16. - Соавт. А. Ф. Макеев.



63. Ползучесть и длительная прочность круглой пластинки и толстостенной цилиндрической оболочки, подвергающейся высокотемпературной водородной коррозии при одностороннем давлении водорода // Ползучесть в конструкциях: Тр. II Всесоюз. конф. - Новосибирск, 1984. - С. 61-62. — Соавт.: И.Г. Овчинников, А.Ю. Салихов, В.А. Перекрестов.
64. Прогнозирование работоспособности элементов конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред: Обзор // Расчет элементов конструкций, подвергающихся взаимодействующим агрессивными средами: Межвуз, науч. сб. / СПИ. - Саратов. 1984. - С. 3-8. - Соавт. И.Г.Овчинников.
65. Расчет пластинок и оболочек из композиционных материалов с учетом деформационной анизотропии // Механика конструкций из композиционных материалов / СО АН СССР, - Новосибирск, 1984, - С. 175-181, - Соавт.: А. Ф. Макеев, И. Г. Овчинников.
66. Деформирование и накопление повреждений в цилиндрической оболочке из нелинейного разно модульного материала // Расчет элементов конструкций, подвергающихся А. Ф. Макеев, воздействию агрессивных сред; Межвуз, науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1985. - С. 3-8. - Соавт. А. Ф. Макеев.
67. Использование метода возмущения области интегрирования при решении нелинейных краевых задач теории гибких пластин и оболочек // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. - 1985. - № 2. - С. 176-178. - Соавт. В. В. Кузнецов.
68. Об одной модификации метода продолжения по параметру в задачах расчета упругой сферической оболочки, сжимаемой жесткой пластинкой // Нелинейная теория тонкостенных конструкций: Тр. 1 Всесоюз. симпоз. Кутаиси, 18-20 мая. - Тбилиси, 1985. - С. 301-304. -Соавт.: ВВ. Кузнецов, В.В. Паксютова.
69. Расчет цилиндрических оболочек, взаимодействующих с водородом при высоких температурах и давлениях // Строительная механика и расчет сооружений. -1985. - № 3. -/ С. 9-12. - Соавт. И. Г. Овчинников.
70. Аффинные групповые преобразования уравнений нелинейной механики пластин и оболочек // Численные методы решения задач теории упругости и пластичности / Новосиб. ин-т теорет. и прикл. механики СО АН СССР. - Новосибирск, 1986. - С. 207-210. - Соавт. В.В. Кузнецов.
71. К вопросу о долговечности пластинок, работающих в агрессивной среде /Аналитические и численные методы решения прикладных задач математической физики: Межвуз. сб. тр. / ЛИСИ. - Л., 1986. - С. 55-58. — Соавт. Г. А. Гончарова.
72. К расчету длительной прочности толстостенной цилиндрической оболочки, взаимодействующей с жидким металлом // Аналитические и численные решения прикладных задач математической физики: Межвуз. сб. тр. / ЛИСИ. - Л., 1986. - С. 59-64. - Соавт. Н.В. Северюхин.
73. Напряженное состояние цилиндрической оболочки и нелинейно-упругого рекомендуемого материала // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. -1986. - № 4. - С. 26-29. - Соавт.: А. Ф. Макеев, И. Г. Овчинников.
74. Построение модели взаимодействия тонкостенных конструкций с агрессивной средой и метод ее анализа // Работоспособность материалов и элементов конструкций при воздействии агрессивных сред / СПИ. - Саратов, 1986. - С. 5-8.
75. Метод асимптотической параметризации граничных условий в нелинейных краевых задачах прикладной механики // Тр. XIX Всесоюз. конф. по теории пластин и оболочек, Кутаиси, 20-23 окт. 1987 г. - Тбилиси, 1987.- С. 116-120. - Соавт. В.В. Кузнецов.
76. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987. - 288 с. - Соавт.: И.Г. Овчинников, Ю.М. Шихов.
77. Учет воздействия агрессивных сред при исследовании устойчивости тонкостенных конструкций // Механика конструкций, работающих при воздействии агрессивных сред: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1987. - С. 5-10. - Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.
78. Модель наведенной неоднородности для нелинейно-деформируемого материала //Долговечность материалов и элементов конструкций в агрессивных и высокотемпературных средах: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1988. - С. 5-9. - Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.
79. Деформирования элементов конструкций из нелинейного разно модульного неоднородного материала. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. - 157 с. - Соавт. И. Г. Овчинников, В. К. Иноземцев.
80. Механика длинномерных элементов глубоководных комплексов. - Саратов: Изд-во Саратов, ун-та, 1989. - 180 с. - Соавт.: В.В. Кузнецов, В.Н. Земеров.
81. Моделирование процессов взаимодействия тонкостенных конструкций с коррозионно-агрессивными средами // Научно-технический прогресс в строительстве и подготовке специалистов. Сб. науч. ст. / Иванов, инж.-строит. Ин-т. - Иваново, 1989. - С. 12-16, - Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.
82. К исследованию процессов деформирования нагруженных конструкций в условиях внешних воздействий // Прочность и устойчивость элементов конструкций в агрессивных средах: Межвуз, науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1990. - С. 49-56. - Соавт. Н.Ф. Синева.
83. Расчет длительной прочности пластин из композитов при воздействии агрессивной среды // Прочность композитов: Тр. Всесоюз, конф. - Севастополь, 1990. - С. 17-18. - Соавт. Е. Н. Деревянкина.



84. Исследование взаимосвязи деформационных характеристик ПО схеме экспоненциальной подгонки для вязкоупругих труб, взаимодействующих с потоками агрессивной и вязко пластичной жидкости // Тр. XI Всесоюз. съезда по теорет. и прикл. механике, - М., 1991. - С. 176-177. - Соавт. Е.Н Деревянкина.
85. Расчеты и испытания на прочность. Расчет устойчивости неупругих цилиндрических оболочек, взаимодействующих с агрессивной средой: Метод. рекомендации. - М.:ВНИИНМАШ, 1991. - 71 с. - Соавт.: В. К. Иноземцев, Н. Ф. Синева.
86. Деформирование нагруженных конструкций в условиях внешних воздействий // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СПИ. - Саратов, 1992. - С. 54-58. - Соавт. Н.Ф. Синева.
87. Исследование взаимосвязи деформационных и прочностных характеристик по схеме экспоненциальной подгонки для вязкоупругих труб, взаимодействующих с потоками агрессивной и вязко пластичной жидкости // Расчет и управление надежностью больших механических систем: Информ. материалы / УПИ. - Екатеринбург, 1992. - С. 76-77. - Соавт. Е. Н. Деревянкина.
88. Анализ использования технологий экспертных систем для оценки состояния поврежденных элементов строительных конструкций // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1993. - С. 155-159. - Соавт.: В.А. Перекрестов, П.К. Семенов.
89. Модель упругопластического деформирования гибких оболочек с наведенной неоднородностью физико-механических свойств материала // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1993. - С. 44-55. - Соавт.: Н.Н. Столяров, Н.И. Дедов.
90. Постановка задачи определения технического состояния строительных конструкций по термножеству ее дефектов // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1994. - С. 8-10. - Соавт.: В.А. Перекрестов, П.К. Семенов.
91. Алгоритм исследования упругопластического деформирования гибких оболочек с наведенной неоднородностью физико-механических свойств материала // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1994. - С. 167-179. - Соавт.: Н.Н. Столяров.
92. К вопросу построения математических моделей взаимодействия напряженных конструкций с агрессивной средой / Проблемы прочности материалов и конструкции, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1995. - С. 5-12.
93. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек: монография / СГТУ. - Саратов, 1996. 312 с. - Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.
94. Исследование влияния граничных условий на работоспособность замкнутых цилиндрических оболочек средней длины, работающих во влажной среде // Тр. XVIII Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. - Т. 2. - Саратов, 1997. - С. 76-81.
95. Сложные колебания и жесткая потеря устойчивости геометрически нелинейных пластин при продольных нагрузках // Тр. XVIII Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. Т. 3. - Саратов, 1997. - С. 160-174. - Соавт.: В.А. Крысько, А.В. Крысько, С.А. Мицкевич.
96. Построение модели взаимодействия конструктивных элементов со слоистой средой, механические свойства которой изменяются во времени // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1998. - С. 6-11.
97. Вклад ученых Саратовского государственного технического университета в развитие теории пластин и оболочек // Механика оболочек и пластин в XXI веке: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1999. - С. 175-193. Соавт.: В. А. Крысько, Ю. В. Чеботаревский.
98. Построение модели неоднородного основания при изменяющемся уровне грунтовых вод // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 1999. - С. 6-10.
99. Методика определения долговечности конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами // Фундаментальные и прикладные исследования саратовских ученых для процветания России и Саратовской губернии: Матер. науч. конф. посвященной 275-летию Российской академии наук. - Саратов, 1999. - С. 123-125.
100. Устойчивость форм равновесия оболочек с учетом неоднородности свойств материала // Вестн. Отд. строит. наук Рос. акад. архит. и строит. наук. - 1999. - № 2. - С. 284-289. Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.
101. Об одной модели расчета, учитывающей влияние деградации свойств нелинейного основания // Современные проблемы нелинейной механики конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Сб. науч. тр. межвуз. науч. конф. / СГТУ. - Саратов, 2000. - С. 88-96. - Соавт.: И.В. Кривошеин.
102. Техническая теория расчета плит на нелинейно-деформируемом неоднородном основании // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Межвуз. науч. сб.



/ СГТУ. - Саратов, 2000. - С. 6 - 14. - Соавт.: И.В. Кривошеин.

103. Двух шаговый метод последовательного возмущения параметров и его применение к решению нелинейных задач механики твердого деформируемого тела // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 2001. - С. 6 - 12.

104. Об одной модели расчета балок и плит на нелинейном неоднородном основании // Вестник ОН РААСН. - Вып. 4. - М., 2001. - 0,5 п.л.

105. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к расчету конструкций на неоднородном основании: монография / СГТУ. - Саратов, 2002. - 260 с. - Соавт.: В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева.

106. Расчет пластинок сложной формы из нелинейно-упругого материала // Механика деформируемых сред: Межвуз науч. сб. Вып. 14 / СГУ. - Саратов, 2002. - С. 99 -105.

107. Алгоритм расчета элементов конструкций с учетом физической нелинейности материала // Вестник ВРО РААСН. - Вып. 5. - Н. Новгород, 2002. - С. 31-35.

108. Использование двух шагового метода последовательного возмущения параметров в нелинейных задачах статического расчета призматических оболочек // Механика оболочек и пластин: Сб. трудов XX Международной конференции. - Н. Новгород, 2002. - С. 240-244. - Соавт.: О.Р. Кузнецов, Н.В. Губарева.

109. Применение двух шагового метода последовательного возмущения параметров к решению нелинейных задач расчета прямых замкнутых призматических оболочек // Матер. IX-й Междунар. конф. им.акад. Кравчука. - Киев, 2002. - С. 157-159. Соавт. О.Р. Кузнецов.

110. Двух шаговый метод последовательного возмущения параметров в задачах уточненной теории нелинейных плит сложной формы на нелинейном деградирующем основании // Математическое моделирование и краевые задачи. - Самара, 2003. -С. 136 -138. - Соавт. И. В. Кривошеин.

111. К вопросу использования уточненных кинематических моделей в теории нелинейно-упругих пластин // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Межвуз, науч, сб./ СГТУ. - Саратов, 2003. - С. 6 - 15. - Соавт.: И.В. Кривошеин.

112. Выделение главной части решения и построение аппроксимирующих функций при решении нелинейных задач вариационными методами // Вестник ВРО РААСН. - Вып. 7. - Н. Новгород, 2004. - 0,5 п.л.

113. Об одном методе понижения размерности уравнений механики деформируемого твердого тела // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Межвуз, науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 2004. - С. 6 - 9.

114. Применение модифицированного метода Бицено-Коха к задачам механики пластинок и оболочек // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 2004. - С. 13 - 25.

115. Инкрементальный подход к исследованию взаимодействия тонкостенных пологих оболочек с агрессивными средами // Вестник ОН РААСН. - Вып. 8. - М., 2004. - 0,5 п.л.

116. Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью свойств // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2005. - С. 6 - 10.

117. Уравнения изгиба нелинейно-упругих пластинок средней толщины с учетом деградации свойств материала от времени // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2005. - С. 22 - 30. - Соавт.: И.В. Кривошеин, О.В. Пенина

118. Применение модифицированного метода Бицено-Коха в теории нелинейно-упругих пластинок // Труды XXI Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. - Саратов, 2005. -С. 179-186. - Соавт.: И.В. Кривошеин.

119. Модель упругого основания с развивающейся неоднородностью // Вестник ВРОРААСН. - Вып. 9. - Н. Новгород, 2006. - С. 67-73. - Соавт.: М. С. Тонин.

120. Модель грунтового основания с развивающейся неоднородностью // Труды общего собрания РААСН: Проект и реализация - гаранты безопасной жизнедеятельности. - Т. 2. -М.- СПб., 2006. - С. 52-56.

121. Инкрементальные методы в нелинейной теории неоднородных тел // Юб. сб. докладов, посвященный 100-летию со дня рождения В.З. Власова. - М., 2006. - С. 141-148.

122. Пространственная модель нелинейно деформируемого неоднородного основания // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2006. - С. 6 - 12.

123. Применение модифицированного метода Бицено-Коха в нелинейной механике пластинок // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2006. - С. 22 - 31. - Соавт.: И.В. Кривошеин.

124. Расчет конструкций на нелинейно-деформируемом неоднородном основании //ACADEMIA. Архитектура и строительство. - 2006. - №3. - 0,6 п.л. - Соавт.: М.С. Тонин.

125. Двух шаговый метод последовательного возмущения параметров в нелинейных задачах строительной механики // Вестник отделения строительных наук РААСН. - Курск,2007. - С. 150-155. - Соавт.: И.В. Кривошеин.



126. Исследование модели нелинейно деформируемого основания // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. - Вып. 10. - Н. Новгород, 2007. - С. 70-75. - Соавт. М.С.Тонин.
127. Инкрементальные уравнения деформирования материалов с развивающейся неоднородностью, вызванной воздействием агрессивных сред // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости: Сб. трудов к 70-летию со дня рождения В. Г. Зубчанинова, - Тверь, 2007. - 0,4 п.л.
128. О сходимости некоторых итерационных методов расчета нелинейно-упругих оболочек и пластинок // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2007. - С. 6 - 16. Соавт.: И.В. Кривошеин.
129. Долговечность плит из нелинейно-деформируемого материала с учетом воздействия агрессивной эксплуатационной среды // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2007. - С. 31 - 40. - Соавт.: О.В. Пенина.
130. Расчет призматических оболочек из нелинейно-деформируемого материала с учетом воздействия агрессивной эксплуатационной среды // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2007. - С. 31 - 40. - Соавт.: П.В. Селяев.
131. Долговечность пластинок из нелинейно-деформируемого материала при действии поперечной нагрузки и коррозионной среды // Георесурсы. - 2008. - №1(24). - С. 28 - 31. Соавт: О.В. Пенина.
132. Анализ вариантов нелинейных уравнений теории пологих оболочек // Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН. - Т. 2. - М. - Белгород, 2008. - С. 89 - 99. - Соавт.: И.В. Кривошеин.
133. К вопросу расчета нелинейно-деформируемых пластинок в агрессивных средах // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2008. - С. 6-18.
134. Влияние параметров наведенной неоднородности на долговечность пластинок, изгибаемых в агрессивных средах // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2008. - С. 42. Соавт.: О.В. Пенина.
135. Расчет плит из нелинейно-деформируемого материала с произвольной диаграммой деформирования с учетом воздействия агрессивной эксплуатационной среды // АСАСЕМІА. Архитектура и строительство. - 2008. - № 3. - С. 87-92. - Соавт.: О.В. Пенина, П.В. Селяев.
136. Определение долговечности и резерва несущей способности нелинейно-упругих пластинок при изгибе в агрессивных средах // Вестник СГТУ. - 2008. - № 4. - С. 16-22. - Соавт.: О.В. Пенина.
137. Инкрементальные уравнения в нелинейной механике пологих оболочек // Вестник ВРО РААСН. - Вып. 11. - Н. Новгород, 2008. - С. 83-89.
138. Расчет долговечности пластинки при изгибе в агрессивной среде // Вестник Волжского отделения РААСН. - Вып. 12. - Н. Новгород, 2009. - С. 170-177. - Соавт.: И.В. Кривошеин.
139. Долговечность тонкостенных пологих оболочек, взаимодействующих с агрессивными средами // Вестник РААСН ОСН. - Вып. 13. - Т. 1. - М. - Орел, 2009. - С. 246 - 257.
140. Долговечность гибких пологих оболочек из нелинейно деформируемого материала в агрессивных средах // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: Сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2009. - С. 6 - 15. - Соавт.: И.В. Кривошеин.
141. Прочность и устойчивость нелинейно деформируемых пологих оболочек // АСАСЕМІА. Архитектура и строительство. - 2009. - № 3. - С. 83 - 86. - Соавт.: И.В. Кривошеин.
142. Выделение главной части решения при расчете гибких пологих оболочек на прямоугольном плане. Вестник ВРО РААСН, вып. 17, Н. – Новгород, 2014. С. 192 – 199. – Соавт. И.В. Кривошеин.
143. Влияние неоднородности нелинейно деформируемого материала на напряженное состояние гибких пластин и пологих оболочек // Вестник РААСН ОСН, вып. 14, Москва, 2014. С. 246 – 25
144. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск, 2014. – С. 136-145.
145. Инкрементальная модель взаимодействия нелинейно деформируемых материалов с агрессивными средами. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Саранск. 2014. С. 136-145. Соавт. П.В. Селяев.
146. Влияние неоднородности материала при расчете физически и геометрически нелинейных пологих оболочек на прочность и устойчивость. АСАСЕМІА, Архитектура и строительство, № 4, 2014, С 109-113. Соавт. И.В. Кривошеин.
147. Влияние неоднородности материала на устойчивость нелинейно деформируемых пологих оболочек двоякой кривизны // Вестник СГТУ, 2014, 4(77), С. 20 – 25. Соавт. И.В. Кривошеин.
148. Влияние неоднородности материала на прочность и устойчивость нелинейно деформируемых пологих оболочек // Вестник ВРО РААСН, вып. 18, Н. – Новгород, 2015. С. 130 – 136. Соавт. И.В. Кривошеин.



149. Влияние неоднородности нелинейно деформируемого материала на напряженное состояние гибких цилиндрических оболочек // Строительство и реконструкция, №3 (59), 2015, С. 32 – 39.
150. Влияние качества аппроксимирующих функций на главную часть решения пологих оболочек. Сб. материалов XVI. Международной научн.-техн. конф. «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности». 2015. Тула. С. 85 – 86. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
151. Улучшение качества аппроксимирующих функций на главную часть решения пологих оболочек. Сб. материалов XVI. Международной научн.-техн. конф. «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности». 2015. Тула. С. 65 – 91. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
152. О моделировании долговечности конструкций. Улучшение качества аппроксимирующих функций на главную часть решения пологих оболочек. Сб. материалов XVI. Международной научн.-техн. конф. «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности». 2015. Тула. С. 85
153. Выделение главной части решения при расчете пологих оболочек вариационными методами. НАУКА: 21 век. Строительство. № 3 (31). 2015. С. 101-109. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
154. Расчет неоднородных по толщине оболочек с учетом физической и геометрической нелинейностей. ACADEMIA, Архитектура и строительство, № 4, 2015, С 53-58.
155. Итерационные методы решения нелинейных задач строительной механики // Вестник ВРО РААСН, вып. 19, Н. – Новгород, 2016. С. 158 – 166. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
156. Математическое моделирование долговечности тонкостенных пространственных конструкций в агрессивной среде. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volum 9, Issue 2, 2016, P 256 – 261.
157. НДС неоднородных конструктивных элементов и определение запаса (ресурса) их долговечности. Вестник ПРО, вып. 20. Н. Новгород. 2017. С. 157 – 164. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
158. Влияние технологической неоднородности нелинейно-деформируемого материала на напряженно-деформированное состояние конструкций. Научные труды РААСН. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации. Том. 2. М. 2017. С. 288 – 296. Соавт. Р.В. Мищенко.
159. Решение нелинейных задач строительной механики методом наискорейшего спуска. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volum 13, Issue 2, 2017, P103 – 111.
160. Расчет конструкций переменной толщины методом наискорейшего спуска ACADEMIA // Архитектура и строительство. №2, 2018, 166 с. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
161. Решение физически нелинейных задач изгиба пластин переменной толщины. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volum 14, Issue 1, 2018. С. 120-126. Соавт. Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов.
162. К расчету пластин сложного очертания с криволинейными кромками. Сборник материалов XX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры» (28-29 июня 2019 г.). Тула. С. 220 – 225. Соавт. О.А. Закирова, С.А. Хмарин.
163. Расчет пластинок сложного очертания в плане. Вестник приволжского территориального отделения РААСН. Вып. 22. Н. – Новгород. 2019. Соавт. О.А. Закирова, С.А. Хмарин.
164. Инкрементальная теория прогнозирования долговечности конструкций в агрессивной среде с учетом физической нелинейности материала. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации. Научные труды РААСН. Том. 2. М. 2019. С. 433 – 447. Соавт. Р.В. Мищенко.
165. Войко, А. В. Упрочнение тантала методом поверхностной химико-термической обработки / А. В. Войко, А. Ю. Иванова, В. В. Петров // Современные материалы и технологии : Сборник материалов Международной молодежной конференции, приуроченной к 90-летию СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, 27–28 мая 2020 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2020. – С. 58-61. – EDN NELLHD.
166. Математическое моделирование долговечности тонкостенных пространственных конструкций взаимодействующих с агрессивной средой / В. В. Петров, Р. В. Мищенко, Д. А. Пименов, О. А. Горбачева // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 6(9). – С. 14-30. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10052. – EDN ASQBRG.
167. Опытнo-конструкторские научные исследования : Сборник статей / под ред. В.В. Петрова, В.П. Селяева ; Институт судебной строительнo-технической экспертизы. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебной строительнo-технической экспертизы", 2021. – 28 с. – ISBN 978-5-6044616-6-2. – EDN XRHT1B.
168. Петров, В. В. Монолитные железобетонные перекрытия с повышенной несущей способностью / В. В. Петров, В. Г. Мурашкин // Эксперт: теория



- и практика. – 2021. – № 1(10). – С. 38-45. – DOI 10.51608/26867818_2021_1_38. – EDN KLWVJS.
169. Петров, В. В. К расчету пластин сложного очертания в плане / В. В. Петров, О. А. Горбачева // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 5(14). – С. 21-26. – DOI 10.51608/26867818_2021_5_21. – EDN XSPIJO.
170. Применение информационных технологий в задачах нелинейных неоднородных конструкций зданий и сооружений. Петров В.В., Артамонова Е.Н., Шляхов С.М., Ким А.Ю., Кривулина Э.Ф., Мищенко Р.В., Полников С.В., Пименов Д.А. Отчет о НИР № 12В.01 от 05.07.2019. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2021.
171. Petrov, V. V. Nonlinear Structural Analysis Based on the Modified Sequential Load Method / V. V. Petrov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17, No. 4. – P. 146-152. – DOI 10.22337/2587-9618-2021-17-4-146-152. – EDN DYNDVL.
172. Петров, В. В. Модифицированный метод последовательных нагружений в нелинейной строительной механике / В. В. Петров, Р. В. Мищенко, О. А. Горбачева // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году : Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2022. – С. 339-349. – EDN WTVOZF.
173. Петров, В. В. К расчету конструкций из нелинейно-упругого материала методом коллокаций / В. В. Петров, О. А. Горбачева // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 4(19). – С. 51-54. – DOI 10.51608/26867818_2022_4_51. – EDN EVZRAY.
174. Петров, В. В. О юбилейном общем собрании членов Российской Академии архитектуры и строительных наук / В. В. Петров // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 4(19). – С. 85-86. – EDN OZIZPP.
176. Опытнo-кoнстрoктoрские научные исследования : Сборник статей / Под редакцией В.В. Петрова. Том Выпуск 2. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебнoй стрoительнo-техническoй экспертизы", 2022. – 35 с. – EDN AVJXBJ.
177. Опытнo-кoнстрoктoрские научные исследования : Сетевoй сборник статей / Под редакцией В.В. Петрова. Том Выпуск 3. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебнoй стрoительнo-техническoй экспертизы", 2022. – 36 с. – EDN NWSMVO.
178. Особенности подготовки магистрантов для отрасли транспортное строительство в Тюменском индустриальном университете / И. Г. Овчинников, Н. А. Руссу, Н. Л. Бреус [и др.] // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10, № 4. – DOI 10.15862/02SATS423. – EDN CIGVJS.
179. Опытнo-кoнстрoктoрские научные исследования : сборник статей. Редактор Петров В.В. – Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебнoй стрoительнo-техническoй экспертизы", 2023. – 61 с. – EDN IFWAZZ.
180. Опытнo-кoнстрoктoрские научные исследования : Электронный сборник статей. Редактор Петров В.В.–Тольятти : Автономная Некоммерческая Организация "Институт судебнoй стрoительнo-техническoй экспертизы", 2023. – 52 с. – EDN QCSPVG.
181. Петров, В. В. Расчет пластины из нелинейно-упругого материала методом коллокаций / В. В. Петров, О. А. Горбачева // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук : Сборник научных трудов. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 124-128. – EDN OVAAXF.
182. Научный отчет о проведении XXV Международной НТК «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» / А. А. Трещев, В. П. Селяев, В. В. Петров [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4(27). – С. 120-126. – DOI 10.51608/26867818_2024_4_120. – EDN BWOOMN.
183. Петров, В. В. К расчету пластин полигонального очертания в плане методом коллокаций / В. В. Петров, О. А. Горбачева // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 1(24). – С. 30-33. – DOI 10.51608/26867818_2024_1_30. – EDN DJCYXZ.
- Научная школа академика РААСН В.В. Петрова продолжает развиваться, распространяя свое влияние на другие регионы нашей страны, и на другие области научного знания.



Профессор Овчинников И.Г.

*Доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ,
Почетный Дорожник РФ*

ВМЕСТЕ ПО ЖИЗНИ С ПРОФЕССОРОМ ПЕТРОВЫМ В.В.

Учеба в Саратовском политехническом институте

Я поступил в Саратовский политехнический институт в 1965 году после окончания с отличием Уфимского автомобильно-дорожного техникума (мостовое направление). На первом курсе меня назначили старостой группы, но так как я учился отлично, что было нетрудно после техникума, то в конце первого семестра мне разрешили свободное посещение занятий (было тогда такое).

На втором курсе мне понравилась дисциплина «Соппротивление материалов», которую вел доцент Пальм Юрий Августович. Знал он свой предмет досконально и заставлял нас, студентов, также изучать его, особое внимание уделяя практическим расчетам различных конструкций и тщательной проверке результатов расчета.

На третьем курсе дисциплину «Строительная механика» вел также Пальм Ю.А. со всеми своими требованиями к нам и потому эту дисциплину мы освоили весьма хорошо. А вот практику по строительной механике у нас вел тогда ещё аспирант Смольков П.П., который делал вид, что знает дисциплину весьма хорошо, но нередко попадал в щекотливые ситуации. Как-то он нарисовал на доске висячую систему (расчетную схему для висячего моста) и

объявил, что сейчас мы будем определять изгибающий момент в тросе. На мой вопрос, как это сделать, ведь трос работает только на растяжение и не воспринимает ни сжатие, ни изгиб и, поэтому, ни о каком изгибающем моменте не может идти речь, он без зазрения совести ответил: «А вот мы будем искать и найдем». К сожалению, доверие такой преподаватель у нас перестал вызывать.

На третьем курсе мы начали изучать дисциплину «Теория упругости», которую вел доцент Петров Владилен Васильевич. Это была моя первая встреча с Петровым В.В. Лекции Петров В.В. читал виртуозно, знал свой предмет досконально, и мы всегда удивлялись, как можно просто и понятно излагать такую сложную дисциплину с огромным количеством дифференциальных уравнений в частных производных. Но и обаяние лектора, и глубокое знание им своего предмета, и умение просто и понятно излагать сложные вещи привело к тому, что, по крайней мере, я освоил эту дисциплину весьма хорошо. Практические занятия по теории упругости у нас вел Филатов Валерий Николаевич, бывший в то время аспирантом Петрова В.В. Он знал теорию упругости достаточно хорошо и со временем защитил докторскую диссертацию и стал профессором



Еще обучаясь на последнем курсе, я задумывался, а что буду делать после окончания вуза. Я выписал по почте книгу В.И. Терещенко насколько помню под названием «Курс для высшего административно-управленческого персонала» - об опыте управления фирмами за рубежом, и достаточно хорошо изучил его. Дело в том, что я видел два пути дальнейшей карьеры. Первый – это идти по производственной линии, то есть стать либо проектировщиком, либо строителем, но в обоих случаях карьерный рост в России был возможен только по управленческой или партийной лестнице. Другой путь - заниматься научными исследованиями и преподаванием. Сопоставление финансовых условий оказалось не в пользу производственной карьеры, ибо в то время заработная плата кандидата наук, доцента составляла 320 рублей в месяц, а оклад управляющего мостостроительным трестом только 280 рублей, а ответственность на производстве была больше. И потому выбор был сделан в пользу научной и преподавательской карьеры, причем в качестве базовой науки была выбрана строительная механика (сказалось влияние профессора Вольвича С.И., который читал нам лекции по динамике и устойчивости сооружений).

Поступление в аспирантуру СПИ

Я предполагал поступать в аспирантуру к профессору Вольвичу С.И. Но на кафедре строительной механики тогда существовало положение, что желающий поступать в аспирантуру должен, был в течение года отработать в лаборатории кафедры лаборантом и изучить испытательные приборы, проводить все лабораторные занятия со студентами и изучить дисциплины, читаемые на кафедре. А так как я еще на пятом курсе, по предложению С.И. Вольвича, работал на полставки лаборантом, то после окончания вуза я просто перевелся на полную ставку лаборанта и работал в течение года на кафедре. Но чтобы это время не пропадало, подготовился и сдал все три кандидатских экзамена за аспирантуру – философию, иностранный язык и специальность – тогда это было можно. По окончании года работы в лаборатории кафедры я собрался идти в аспирантуру, тем более что меня зачисляли сразу же без вступительных экзаменов, так как у меня были уже сданы все кандидатские экзамены, но профессор Вольвич С.И. неожиданно умирает, и я остаюсь без научного руководителя.

После смерти Вольвича С.И. кафедру строительной механики объединяют с кафедрой теории упругости, называют кафедрой «Строительная механика и теория упругости» и во главе ее ставят Петрова Владилена Васильевича, который к этому времени защитил докторскую диссертацию в 35 лет и был самым молодым доктором наук у нас в вузе (да, наверное, не только у нас). И я пошел в аспирантуру к Петрову В.В.

На собеседовании я рассказал, какими научными проблемами занимался ранее, и Петров В.В., предложил мне заняться теорией расчета конструкций с учетом нелинейности их работы. Докторская диссертация Петрова В.В. была посвящена разработке методов расчета тонкостенных конструкций с учетом геометрической нелинейности и называлась так «Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек». Защищена она была в 1970 году. Петров В.В. предложил мне заниматься теорией расчета пластинок и оболочек с учетом не геометрической, а физической нелинейности, то есть нелинейности, связанной с учетом нелинейности диаграммы деформирования материалов. В то время в подавляющем большинстве учебников и книг по сопротивлению материалов, строительной механике, теории упругости рассматривались только линейные задачи, в которых материал подчинялся закону Гука, перемещения (прогибы) конструкций были малы и при составлении уравнений, описывающих поведение конструкций, нелинейности не учитывались. Это позволяло получать уравнения, описывающие поведение конструкций в виде линейных алгебраических или дифференциальных уравнений, методы решения которых были достаточно хорошо разработаны математиками.

Но вернемся к моему пребыванию в аспирантуре. Профессор Петров В.В. читал лекции по курсу теории упругости студентам строительного факультета специальности «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС), а мне было поручено вести за ним практические занятия аж в четырех группах. Понятное дело, что если в первой группе на занятиях я еще осваивал соответствующую тему, то в четвертой группе я знал эту тему уже наизусть. В результате за семестр я отлично выучил курс теории упругости.

Я хотел было по примеру бывшего ректора Волгоградского архитектурно-строительного университета профессора Игнатъева В.А. (выпускника аспирантуры нашей кафедры) дополнительно поступить в Саратовский государственный университет (СГУ) на романо-германский факультет для улучшения знаний английского языка, но Петров В.В. отговорил меня, и порекомендовал изучить в СГУ численные методы решения дифференциальных уравнений. Я договорился с деканом мехмата СГУ о свободном посещении и изучал курсы численных методов и программирования.

В то время у нас на кафедре «Строительная механика и теория упругости» СПИ чуть ли не еженедельно под руководством Петрова В.В. проводились научные семинары, в которых принимали участие все аспиранты и преподаватели кафедры. На этих семинарах по очереди выступали аспиранты и докладывали свои работы или же анализировали авторефераты, которые поступали на кафедру для получения отзыва.



Как ни странно, несмотря на сложность предметов, преподаваемых на нашей кафедре, таких как: строительная механика, теория упругости, динамика и устойчивость сооружений, студенты относились к преподавателям кафедры с большим уважением. Как-то, у кафедры, я встретил несколько студентов, которые почему-то быстро убежали. Пройдя в преподавательскую, я нашел на столе листок бумаги с таким стихотворением, посвященным кафедре:

Бог в наказанье, а может быть для смеха
Засунул в погреб кафедру строймеха.
Там пол на метры скукою покрыло
И от тоски там лестницу скривило.
Там скукой теоретики пропахли,
Сердешные, над цифрами зачали.
До бедного студента нет им дела,
Их бедных арифметика заела.
Студенты – вечная помеха
Для думающей кафедры строймеха.
Они как черти сыплются с небес
Таща с собой вопросов глупых лес.
И теоретиков, лишь отпусая часок,
Немного отпускает нервный шок.
Они, пытаясь дрожь свою унять,
Бумагу начинают вновь марать.
Но мы на них, студенты, не в обиде
Мы и в таком их обожаем виде.
И тащимся на кафедру ту снова
Где кабинет профессора Петрова.
Всё ж крупно «теоретикам» везет
Не нам, а им он лекции дает.

Здесь последние фразы относятся к тому, что было создано несколько групп студентов-строителей, которым расчетные дисциплины давались в большем объеме и более углубленно. Отбор в эти группы был жесткий, и многие завидовали тем, кто учился в этих группах. Из выпускников этих групп потом получались весьма квалифицированные расчетчики для работы в проектных организациях.

Расчеты для своей кандидатской диссертации я выполнял на калькуляторе «Электроника» и расчет, скажем пластины из нелинейно упругого материала, занимал около месяца. Мой научный руководитель профессор Петров В.В. в своих работах для расчета геометрически нелинейных, но физически линейных пластинок и оболочек разработал и применил метод последовательных нагружений. Я в своей работе, используя знания работы мостовых сооружений, разработал методику расчета оболочек, когда они нагружаются не тонкими «блинами» нагрузки, а нагружение ведется путем перемещения нагрузки с одного конца оболочки к другому, так, как движется поезд по мосту. Кроме того, стандартная методика последовательных нагружений была применена к расчету пластинок и цилиндрических оболочек из нелинейно упругого материала. К концу первого

года аспирантуры я уже подготовил диссертацию по расчету нелинейно-упругих пластинок и принес текст рукописи, написанный от руки на развернутых вертикально тетрадных листах в клетку. Петров В.В. посмотрел рукопись и говорит: «У тебя еще два года аспирантуры, поэтому давай разрабатывать эту методику применительно к различным нелинейно-упругим оболочкам». Чем я и занялся. И подготовил, а потом защитил в начале 1975 года диссертацию на тему «Вопросы расчета цилиндрических оболочек из нелинейно-упругого материала».

Оппонентом по моей кандидатской работе был приглашен профессор Московского инженерно-строительного института Лукаш Петр Андреевич, который во время защиты сидел в аудитории и производил разные выкладки, готовя к изданию книгу «Основы нелинейной строительной механики», которую и издал в 1978 году.

После защиты диссертации я стал работать на кафедре в должности ассистента и ждать утверждения диссертации в ВАКе (Высшей аттестационной комиссии). Петров В.В. тем временем стал проректором Саратовского политехнического института по научной работе. В конце декабря 1975 года мы отпраздновали наступление Нового года, и Петров В.В. мне говорит: «Сразу после Нового года, как вуз начнет работать, зайди ко мне». Захожу, он достает открытку из ВАКа, на которой написано, что мне отказано в присуждении ученой степени кандидата технических наук. Петров В.В. говорит, ну ка принеси диссертацию, проверим еще раз. Приношу, смотрим внимательно и не понимаем, так как она по уровню даже выше других диссертаций, на которые я ссылался. В.В. Петров говорит: даю тебе командировку, езжай в ВАК, выясняй, в чем дело. Я тем же вечером поехал.

Приехав в Москву, нашел ВАК. Мне говорят: вам надо в технический отдел. Нахожу технический отдел, заглядываю – там трое мужчин пьют чай и говорят – мы на обеде, подождите. Я говорю: я готов подождать, но туда ли я попал? И показываю открытку с отказом. У одного из сотрудников после того, как он прочитал открытку, задрожали руки, и он говорит: произошла техническая ошибка, мы перепутали протоколы, у вас все нормально. Напротив ВАКа есть почта, идите и купите в ней 4 открытки. Я без пальто выскочил на улицу, нашел почту, купил пачку открыток и бегом вернулся в технический отдел. Сотрудник ВАКа ставит на моей открытке печать, что работа утверждена ВАКом и дрожащей рукой пишет на этой открытке: «ВАК приносит свои глубочайшие извинения за допущенную ошибку». Я нахожу переговорный пункт и сообщаю Петрову В.В. эту положительную не только для меня, но и для него новость. Сейчас эта открытка хранится у Петрова как реликвия, и он мне её не отдает.

В 1976 году на основе моей диссертации была издана монография «Расчет пластинок и оболочек из



нелинейно-упругого материала / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, В.И. Ярославский; под ред. проф. В.В. Петрова. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1976. – 133 с.», которая была третьей в Советском Союзе монографией по расчету пластинок и оболочек из материала с нелинейной диаграммой деформирования. Первая была издана в Казани Корнишиным М.С., а вторая издана в Горьком Угодчиковым А.Г.

В это время в учебные планы всех технических специальностей была введена новая дисциплина «Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах» (ВТИЭР), содержание которой сводилось к изучению алгоритмических языков программирования АЛГОЛ и ФОРТРАН. Чтение лекций по этим языкам для всех специальностей СПИ поручили нашей кафедре, а завкафедрой Петров В.В. – мне, причем занятия проходили в большой аудитории, и эта дисциплина читалась несколькими потоками сразу.

Направления научной работы

После защиты диссертации я был намерен продолжить начатые исследования. В это время в аспирантуру кафедры поступили два выпускника Саратовского государственного университета – Рогов А.Н. и Макеев А.Ф. Заведующий кафедрой, их научный руководитель Петров В.В., предложил мне быть консультантом по их научной работе, потому что они продолжили разрабатывать научную тему моей кандидатской диссертации. Так как в то время я не имел права быть официальным научным руководителем

аспирантов, а консультантов почему-то в автореферате нельзя было указывать, то благодарность за консультирование высказывалась в введении к диссертации. Работа Рогова А.Н. была посвящена применению теории подобия и метода последовательных нагружений к расчету нелинейно-упругих цилиндрических панелей, и он защитил диссертацию в 1978 году. Работа же Макеева А.Ф. была посвящена вопросам расчета пластинок и цилиндрических оболочек из нелинейно-упругого материала, разносопротивляющегося растяжению и сжатию, и защитил он ее в 1980 году. Так как мы работали вместе, то у меня с ними много совместных публикаций.

Хоздоговорная научно-исследовательская лаборатория кафедры «Строительная механика и теория упругости», специализировалась на вопросах диагностики несущих конструкций зданий и сооружений предприятий химической промышленности, оценки их технического состояния, разработки схем ремонта и усиления. Заказчиками выступали химические предприятия Саратова, Энгельса, Чапаевска, Дзержинска, Щелково, Калуша, Сумгаита, Навои, Усоля-Сибирского и многих других городов. Так что география наших поездок и полетов по России была обширной, и опыта мы приобрели достаточно.

В научно-исследовательской лаборатории кафедры под руководством ее заведующего Золотницкого Юрия Сергеевича на основе теории нечетких множеств Заде была разработана специальная экспертная система оценки состояния поврежденных конструкций предприятий химической промышлен-



В лаборатории кафедры СМиТУ. Слева направо – Золотницкий Ю.С., Овчинников И.Г. Семенов П.К.



ности. В этой системе для описания состояния конструкций использовались не только точные численные характеристики, но и так называемые лингвистические переменные, описывающие состояние конструкций с помощью словесных выражений. Была разработана специальная компьютерная программа, которая по массиву информации о дефектах и повреждениях элементов конструкций выдавала заключение об их техническом состоянии и формулировала рекомендации по необходимым способам ремонта для того, чтобы обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию сооружений.

Тогда на кафедре была только слабенькая электронно-вычислительная машина «Наири», которая занимала почти комнату, но мы умудрялись с ее помощью формировать электронные отчеты и тут же их распечатывать. Это приводило в восторг заказчиков от химических предприятий, которые нередко приезжали на кафедру и «стояли над душой», выбивая из нас отчеты для того, чтобы побыстрее провести ремонт и усиление конструкций с тем, чтобы избежать наступления аварийной ситуации.

Нередко к нам обращались и представители различных предприятий электронной промышленности с просьбой выполнить какой-либо расчет, например особой электронной лампы. И вот для того, чтобы проверить правильность расчета проводилось и экспериментальное исследование элементов этих ламп. Но так как элементы ламп были маленькие, и у нас не было приборов для замера их деформаций, то мы применили теорию подобия и построили увеличенную модель элемента электронной лампы, такую, на которой можно было измерить необходимые параметры. Обычно для исследования поведения реальных больших конструкций строят их маленькие модели, на которых в лабораториях проводят лабораторные эксперименты, и результаты экспериментов преобразовывают в параметры для реальных больших конструкций. В нашем же случае мы поступили наоборот – создали увеличенную модель маленького конструктивного элемента. В какой-то мере это было новым словом в моделировании конструкций.

При обследовании конструкций на предприятиях химической промышленности СССР мы обратили внимание на то, что методы расчета несущих конструкций не учитывают воздействие агрессивной эксплуатационной среды на материал и форму конструкций, то есть не учитывают влияние коррозии на конструкции.

Головные институты химической промышленности НИИХИММАШ, СвердловскХИММАШ, ИркутскХИММАШ, УкрХИММАШ, Леннефтехим проблемой коррозии занимались, но при этом прочностную сторону вопроса обходили стороной, учитывая воздействие коррозии повышением коэффициента запаса.

В Саратове к нам обратились газовики, те, кто занимается диагностикой и оценкой состояния газопроводов, находящихся в земле, с просьбой помочь разобраться в вопросе учета коррозии при оценке прочности и остаточной долговечности трубопроводов. Нас эта проблема заинтересовала, и мы начали активно заниматься проблемой расчета конструкций с учетом влияния агрессивных эксплуатационных сред.

Этой научной работой я занимался уже доцентом кафедры, а в 1982 году по предложению заведующего кафедрой профессора Петрова В.В. перешел на два года в старшие научные сотрудники для завершения докторской диссертации. Так как учебная работа меня не отвлекала, то я интенсивно занимался научной работой и публикацией статей.

С использованием полученных от разных организаций экспериментальных данных были построены модели деформирования конструкций и разработаны методы их расчета с учетом действия разных агрессивных сред. За период до 1988 года по этой тематике были защищены кандидатские диссертации Салиховым А.Ю. «Расчет элементов конструкций, подвергающихся высокотемпературной водородной коррозии», Перекрестовым В.А. «Расчет долговечности конструктивных элементов при воздействии рабочих сред», Сабитовым Х.А. «Расчет напряженно-деформированного состояния и длительной прочности нелинейно-упругих цилиндрических оболочек при различных моделях коррозионного износа и программах нагружения», Гарбуз Е.В. «Расчет нелинейно-упругих цилиндрических оболочек с учетом диффундирующей агрессивной среды», Гончаровой Г.А. «Напряженно-деформированное состояние и долговечность прямоугольных пластинок, подвергающихся коррозионному разрушению», Северюхиным Н.В. «Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности элементов конструкций, взаимодействующих с жидкометаллической средой», Кожеватовой В.М. «Учет воздействия агрессивной среды при расчете элементов конструкций на длительную прочность».

Защита докторской диссертации

К концу 1984 года я подготовил докторскую диссертацию «Расчетные модели и методы расчета элементов конструкций, работающих при воздействии агрессивных сред» по строительной механике и представил ее к защите в диссертационный совет Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций имени Кучеренко в Москве (ЦНИИСК), который считался ведущим советом по строительной механике. В качестве ведущей организации был предложен НИИХИММАШ в Москве. А оппонентами пригласили профессора Фи-



После защиты с научным консультантом профессором Петровым В.В.

лина Анатолия Петровича из Ленинградского кораблестроительного института (ЛКИ), который в своем отзыве насчитал 38 задач, которые я решил в своей диссертации. Вторым оппонентом был профессор Корнишин Михаил Степанович, который работал в Казанском филиале Академии наук. Третьим оппонентом был профессор Соболев Дмитрий Николаевич из МИСИ. Защиту назначили на 8 декабря 1988 года. Защита прошла успешно, при этом из-за новизны и необычности темы один из членов совета задал 27 вопросов.

На основе материалов моей научной работы по тематике докторской диссертации была подготовлена и в 1980 году сдана в печать монография Петрова В.В., Овчинникова И.Г., Шихова Ю.М. «Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой», изданная в 1987 году. Книга оказалась первой в нашей стране монографией, посвященной весьма актуальной, но сложной проблеме моделирования поведения конструкций, подвергающихся деструктирующему воздействию агрессивных сред.

Работа деканом дорожно-строительного факультета СПИ

В конце 1984 года ректор Саратовского политехнического института профессор Андрущенко Анатолий Иванович предложил мне должности декана дорожно-строительного факультета и профессора кафедры «Строительная механика и теория упругости», которая была в составе этого факультета.

Я заявил, что не хочу быть деканом, а он мне в ответ – потому и назначаю тебя деканом, что ты не видишь меркантильной стороны этой должности, и потому будешь работать на совесть. И я начал работать деканом дорожно-строительного факультета с апреля 1985 года. Как раз в это время в нашей стране началась «перестройка», инициированная М.С. Горбачевым. Интересно, что в то время я стал самым молодым деканом факультета в стране, при этом не являвшимся членом Коммунистической партии Советского Союза (КПСС).

Проанализировав состояние дел на факультете, я пришел к выводу, что самая большая проблема факультета – кадры. Так сложилось, что в то время кафедры СПИ возглавлялись знающими учеными, но при этом людьми в возрасте, и почему-то не допускавшими конкуренции с молодыми исследователями, и потому не заинтересованными в подготовке молодых кандидатов наук. Поэтому на факультете существовала негласная точка зрения, что защищать кандидатскую диссертацию можно, только приблизившись к 50 годам. И, хотя к этому времени с подачи В.В. Петрова, защитившего не кандидатскую, а докторскую диссертацию в 35 лет и эффективно готовившего совместно со своими учениками молодых кандидатов наук по строительной механике, ситуация в строительном блоке вуза начала меняться, но на дорожно-строительном факультете так и оставалось затишье. Практически не было докторов наук, которые бы готовили себе смену – кандидатов наук. Поэтому мне пришлось активно включиться в подготовку научных кадров и готовить кандидатов наук



самому. Кроме указанных выше защит кандидатских диссертаций, под лично моим руководством была подготовлена и защищена диссертация Канаевой О.В. «Расчет оболочек вращения, подвергающихся коррозионному износу, скорость которого зависит от напряжения и температуры» (1990 г.). Канаева Оля в это время работала в Московском НИИХИММАШе, который был в свое время ведущей организацией по моей диссертации, и нам удалось поставить в НИИХИММАШе ряд экспериментов по изучению влияния скорости коррозии на кинетику коррозионного износа тонкостенных металлических конструкций. Далее была защищена диссертация Кирилловой Л.А. на тему «Напряженно-деформированное состояние гибкой круглой пластины в водородосодержащей среде с учетом наведенной неоднородности» (1990 г.), Поляковой Л.Г. «Напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки из композитного строительного материала» (1991 г.), Рассадой А.Б. «Напряженно-деформированное состояние и долговечность элементов конструкций в условиях низкотемпературного наводороживания» (1991 г.). Кроме того, выяснилось, что у доцента Горнаева Н.А., с кафедры «Строительство автомобильных дорог», подготовили диссертации два его ученика Иванов А.Ф. и Потапов А.В. На встрече с Горнаевым Н.А. выяснилось, что ни он, ни его ученики не знают порядка защиты диссертаций. После моего вмешательства ребята быстро завершили работы и успешно защитили кандидатские диссертации, начав работу на кафедрах уже кандидатами наук. Большая проблема существовала и на кафедре мостов и тоннелей. Никак не могли подобрать эффективного заведующего кафедрой. Я провел переговоры с главным инженером АО «Волгомост» Чепурновым К.Г., и пригласил его на должность заведующего кафедрой мостов и тоннелей с зарплатой больше, чем он получал, работая главным инженером. Но он отказался быть заведующим кафедрой, но согласился вести занятия по технологии строительства мостов. И потом благодарил меня за это, так как за время занятий хорошо изучил всех студентов-выпускников мостовой специальности и знал, кого на какую должность в подразделениях АО «Волгомост» направить. Интересно, что в то время набор на мостовую специальность составлял 100 человек, а на дорожную более 200 человек. Так как во время моей работы деканом спектр специальностей дорожно-строительного факультета был расширен, то пришлось изменять и название факультета: теперь он назывался факультетом транспортного строительства.

Работа заведующим кафедрой Сопротивление материалов

Отработав два срока в должности декана (тогда срок равнялся 3 годам), в 1991 году я ушел с должности декана и мне предложили избираться на

должность заведующего кафедрой «Сопротивление материалов», которой до этого заведовал профессор Уздалев Анатолий Иванович, имевший солидный возраст. К этому времени я уже имел ученое звание профессора по кафедре «Строительная механика и теория упругости». Кафедра «Сопротивление материалов» имела довольно хороший парк испытательных машин, на которых мы регулярно проводили испытания строительных материалов и узлов различных конструкций. Но для того, чтобы поддерживать это испытательное оборудование в работоспособном состоянии, соответствующем требованиям нормативных документов, мне ежегодно приходилось выбивать из проректора по научной работе около миллиона рублей и приглашать специалистов для проверки и настройки оборудования.

Во время работы на кафедре «Сопротивление материалов» я совместно с коллегами из Казахстана, Украины, Москвы написал ряд учебных пособий и книг по проблемам расчета конструкций, работающих в агрессивной среде. Это книги: Овчинников И.Г., Хадеев В.М. Расчет конструкций, подверженных коррозионному износу: учебное пособие. Иваново, 1991 (ИИСИ, СПИ). 102 с.; Овчинников И.Г., Айнабеков А.И., Кудайбергенов Н.Б. Инженерные методы расчета конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах: учебное пособие. Шымкент: Изд-во КазХТИ, 1994. 131 с.; Овчинников И.Г., Почтман М.Ю. Тонкостенные конструкции в условиях коррозионного износа. Расчет и оптимизация: монография. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1995. 192 с.; Овчинников И.Г., Дворянчиков Н.В. Экспертная диагностика магистральных газопроводов: монография. М.: Газ-ойл Пресс сервис, 1996. 78 с.

В это время я начал тесно сотрудничать с Газпромом по проблемам диагностики трубопроводов с учетом коррозионных повреждений и ко мне в аспирантуру поступил один из руководителей подразделений Газпрома, с которым мы организовали проведение ряда экспериментов и разработали концепцию прочностного мониторинга трубопроводов. Одновременно мы занимались проблемой диагностики трубопроводов с использованием внутритрубных дефектоскопов (по-английски они назывались *intelligentpigs* – интеллигент пигс, то есть в переводе смышлѐные свинки), которые запускались в трубопровод, перемещались по нему и снимали информацию о профиле трубопровода и степени коррозионного повреждения стенок. Иногда из-за страсти советских руководителей к сдаче объектов к определенным парадным срокам (1 мая, 7 ноября и тому подобное) мы сталкивались с тем, что запущенные в трубу дефектоскопы через какое-то время разбивались, и из трубопровода извлекалась груда обломков вместо работающего прибора. Дело в том, что при строительстве трубопроводов иногда не хватало труб определенного диаметра и под давлением руковод-



ства вместо труб, скажем диаметром 1,5 метра, на определенном участке сваривались трубы диаметром 1,2 метра с конусным переходником. Причем об этом не всегда указывалось в документах. Теперь представьте себе, мы запускаем дефектоскоп под трубу диаметром 1,5 метра, он летит по трубе, снимая информацию, и вдруг встречает резкое сужение трубы. Результат очевиден.

Во время работы на кафедре «Сопротивление материалов» ко мне в докторантуру попросился докторант из Казахстана Кудайбергенов Нурлат Баязитович. Мы с ним активно работали, и он вскоре подготовил диссертацию на тему «Основы обеспечения долговечности стальных строительных конструкций промзданий в агрессивных средах». Интересно, что к тому времени вместо СССР уже существовал ряд отдельных государств, и потому возникла проблема с защитой диссертации. В Казахстане к тому времени не было диссертационного совета по строительным конструкциям (по специальности 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения). Тогда я позвонил в Ташкент знакомому проректору вуза и договорился о защите моего докторанта у них. Но у нас хватило ума проконсультироваться в ВАКе Казахстана. Там ответили, что диплом из Узбекистана не признают. Тогда я позвонил в Днепропетровск в Украину и договорился там о защите докторской диссертации Кудайбергенова Н.Б. Но оказалось, что ВАК Казахстана не признает и украинский диплом доктора наук. Тогда я договорился о защите в ЦНИИСКе, где 6 лет тому назад сам защищал докторскую диссертацию и сохранились старые связи. И здесь ВАК Казахстана сдался, заявив, что российский диплом доктора наук после защиты в такой уважаемой диссертации он признает. И Нурлат Кудайбергенов успешно защитился в ЦНИИСК. После этого мы с ним вели совместную аспирантуру по строительной механике в Кзыл-ординском государственном университете имени Корытату, где я читал лекции по расчету строительных конструкций с учетом воздействия агрессивных сред. Наши аспиранты защищали диссертации в диссертационном совете Казахской головной архитектурно-строительной академии в Алма-Ате.

В это время ко мне пришло письмо из технического университета Гамбурга, в котором одна из студенток (помню, что ее звали Клаудиа) заинтересовалась моими исследованиями и публикациями и попросилась пройти практику в нашем вузе под моим руководством. Я попросил ее скопировать на диск учебный план, по которому она училась, а также подобрать книги на немецком языке по проблемам коррозии строительных конструкций, что она и сделала. Мы поселили ее в общежитие, я сформулировал ей программу практики, и она приступила к работе. Но почти через день приходила к нам домой в

гости и жаловалась моей супруге на то, что профессор так ее загружает, что она так не училась и не работала даже в своей родной Германии. Я же проанализировал учебный план по ее специальности в техническом вузе Гамбурга и восхитился, как он был составлен. В нем было всего 3 (три), как они писали, гуманитарных предмета. Это технический английский, экономика и история техники. Остальные предметы были технические, инженерные. Поэтому студенты в Гамбурге не тратили много времени на так называемые «флюгерные» науки, а занимались делом. Я выступил на ученом совете нашего вуза с информацией о структуре учебного плана технического вуза Гамбурга, добавив от себя, что у нас, скорее всего, их «гуманитарные» предметы отнесли бы к техническим предметам, и добавили бы еще ряд чисто гуманитарных предметов типа истории, культурологии и так далее. Парадокс заключается еще и в том, что студенты гуманитарных вузов, из которых потом получают и преподаватели, и ученые гуманитарных наук, во время обучения в вузе не изучали ни одного технического предмета и в своем большинстве понятия не имеют о работе техники и строительных конструкций. Студенты же технических вузов в нашей стране перегружены гуманитарными дисциплинами, в ущерб инженерным. Мало того, почему-то в нашей стране вроде бы уделяется большое внимание изучению иностранных языков, но почему-то студенты, заканчивая вуз, разбираются в технической, инженерной стороне своей профессии, но при не меньшем числе часов, плохо, если не сказать совсем не знают иностранные языки. Спрашивается, что не так в работе кафедр иностранных языков в наших технических вузах? Ведь техническому иностранному языку их учат преподаватели, которые не знают технической стороны вопроса, не владеют техническим сленгом!

Создание лаборатории

по испытанию деревянных конструкций и мебели

Вообще-то время, когда я был заведующим кафедрой «Сопротивление материалов», было непростым.

И вот для выживания по согласованию с руководством вуза (а тогда ректором уже был мой учитель профессор Петров Владилен Васильевич) в 1994 году (от Рождества Христова) мы создали при кафедре лабораторию по испытанию деревянных конструкций и мебели. Она размещалась на первом этаже дорожного корпуса, который имел силовой пол, и на нем можно было устанавливать испытательное оборудование. Я был назначен руководителем лаборатории, а моим работающим заместителем стал кандидат физико-математических наук, доцент Абросимов Вениамин Павлович, который относился к делу очень ответственно. Наша лаборатория



взяла кредит в размере 77 миллионов рублей (в тогдашних ценах) и на эти деньги на московском заводе «Калибр» заказала специальное испытательное оборудование. Это оборудование было изготовлено, на специальных грузовых автомобилях было доставлено в Саратов и смонтировано. Часть оборудования была изготовлена в мастерских университета и частных мастерских города. Это оборудование позволяло испытывать на прочность и устойчивость шкафы, столы, диваны, кресла как для общественных помещений (кинотеатров, школ, вузов, магазинов), так и для обычных квартир.

Мы прошли специальное обучение и были готовы организовать испытание мебели и деревянных конструкций. В качестве заказчиков выступали мебельные фабрики. Наши сотрудники выезжали на эти фабрики, отбирали произвольный гарнитур из выпускаемой партии, помечали его и привозили в лабораторию. В лаборатории проводили испытания, причем не только на прочность и устойчивость, но и с привлечением санэпидстанции на выделение вредных смол, используемых при изготовлении мебели. Результаты испытаний оформлялись в виде протоколов испытаний и передавались в Саратовский центр сертификации, работники которого на основании сравнения протокола испытаний с нормативными требованиями выдавали производителям мебели сертификат соответствия. Производители мебели представляли этот сертификат в магазины, где эта мебель продавалась. Для пояснения следует заметить, что этот сертификат не является гарантией того, что купленная вами мебель соответствует всем требованиям, ведь мы не проводили испытания каждого изготовленного комплекта мебели, а испытывали только образец из всей партии. Этот сертификат только удостоверяет, что фабрика в состоянии выпускать мебель, которая соответствует предъявляемым требованиям. Это и надо иметь в виду, когда вы покупаете мебель, и вам говорят, вот сертификат, подтверждающий ее качество.

Наличие испытательной лаборатории мебели сильно ударило по олигархам, которые заказывали и привозили в Россию мебель из-за рубежа. По существующим тогда правилам эта мебель должна обязательно проходить сертификацию на соответствие российским нормам. Дело в том, что, как мы с удивлением узнали, российские требования к мебели гораздо жестче, чем зарубежные. Ведь у нас мебель делали «на века», а за рубежом она нередко была предназначена для службы в течение короткого периода. Например, итальянцы перед Новым годом обычно выкидывали мебель и потом приобретали новую. Так вот, олигархам пришлось из таможни везти мебель не к себе домой, а к нам в лабораторию и только после положительного результата испытаний они могли ее забрать.

Мы создали ряд стендов для испытания оконных и дверных конструкций из полимерных материалов. Для этого в помещении построили морозильную камеру, в проем одной из стен вставлялся оконный переплет со стеклами, в камере создавалась температура минус 27 градусов и определялась степень теплозащиты окна. Также был создан стенд для испытаний окон на действие дождя, который в виде душа лил на окно с одной стороны, а с другой оценивалась степень замачивания. И еще был создан стенд для испытания окон на светопрозрачность.

Взаимодействие

с дорожно-строительной отраслью

Работая на кафедре «Сопротивление материалов» я установил тесные связи с руководством дорожно-строительной отрасли Саратовской области, и строительными организациями Казахстана, и мы начали проводить обследование мостовых сооружений, а также по моему предложению разработали два документа. Один из них – это «Каталог дефектов и поврежденных мостовых сооружений» с кратким указанием рекомендуемых способов их усиления, а второй документ – это «Перечень рекомендаций по ремонту, реконструкции и усилению мостов Саратовской области». Насколько я знаю, это были первые в России документы такого рода.

Параллельно с работой лаборатории по испытанию мебели нам пришлось для выживания открыть и малую научно-исследовательскую фирму под названием «Инженер», в которой мы и разрабатывали различные альбомы дефектов и поврежденных мостов, а также выполняли обследование различных инженерных конструкций, дымовых труб, корпусов предприятий, мостов, автомобильных дорог. Эта фирма числилась в составе университета, и потому нам приходилось отдавать львиную долю доходов в университет.

Создание кафедры

«Мосты и транспортные сооружения»

В 1997 году ректор Петров В.В. пригласил меня к себе на беседу и предложил мне перейти на должность заведующего кафедрой, которая готовит мостовиков. Мотивировал он это предложение тем, что на кафедре осталось всего пять сотрудников, доцентов и просто преподавателей, а на выпускном курсе всего 8 студентов. И если не предпринимать решительных мер, то подготовку мостовиков придется закрывать. Я еще со времени работы деканом сначала дорожно-строительного, а потом факультета транспортного строительства знал о кадровой проблеме на этой кафедре и вообще был знаком с проблемой подготовки мостовиков. Решение перейти на новую кафедру мне далось непросто: ведь на кафедре «Сопротивление материалов», которой я заведовал, все было отла-



жено, учебный процесс был организован, и научная работа и подготовка аспирантов велась, защиты диссертаций проводились, малое предприятие работало. Но и проблема подготовки мостовиков была важна (честно говоря, она такой в России осталась и до сих пор), поэтому я оговорил, что при переходе на новую кафедру возьму с собой доцента Будынкова В.И. вместе с нагрузкой по сопротивлению материалов и строительной механике для мостовиков и дорожников, а также всех моих аспирантов. Кроме того, я оговорил, что и лаборатория по испытанию мебели и деревянных конструкций переходит со мной на новую кафедру. Кафедру, куда я перешел, по предложению Петрова В.В. назвали «Мосты и транспортные сооружения», хотя я был против, утверждая, что мосты и есть вид транспортных сооружений. Но мне сказали, что в названии желательнее иметь слово мосты для быстрого понимания того, кого учат на кафедре и я согласился. Так что кафедра стала называться «Мосты и транспортные сооружения» или сокращенно МТС.

Когда я пришел на кафедру «Мосты и транспортные сооружения», то сразу же возник вопрос: чем должна заниматься кафедра в научном отношении? Проанализировав работу других мостовых кафедр в России, я пришел к выводу, что на всех занимаются вопросами проектирования и строительства оснований, фундаментов, опор, пролетных строений мостов, то есть основными элементами мостов. Но, когда мост вроде бы построен, то остается еще немало работ, без которых мост не будет мостом. Это и устройство гидроизоляции и дорожной одежды на мостах, и устройство деформационных швов и опорных частей, и устройство сопряжения мостов с под-

ходными насыпями, и устройство антикоррозионной защиты мостов. Кроме того, так как я уже и до этого занимался проблемой организации мониторинга транспортных сооружений, а также теорией их эксплуатации, к тому же очень много проблемой учета влияния агрессивной эксплуатационной среды на поведение конструкций, то все это в целом и создавало спектр вопросов, которыми должна заниматься новая кафедра.

Я сначала сформулировал все это как «мелочи в мостостроении». Но мостовики на конференциях, и особенно в АО «Волгомост» - фирме, которая занималась строительством мостов в нашем регионе, возмутились и сказали: какие же это мелочи, это самые болевые точки мостового сооружения, про которые мы, к сожалению, знаем меньше, чем про остальные элементы сооружения. Поэтому далее я сформулировал такую парадигму научных исследований и центра тяжести преподавания на кафедре как **«БОЛЕВЫЕ ТОЧКИ МОСТОСТРОЕНИЯ»**. Наполнение этой парадигмы с течением времени все расширялось.

С течением времени кафедра «МТС» стала одной из ведущих выпускающих кафедр СГТУ. В России немногим более десятка кафедр осуществляют квалифицированную подготовку инженеров-мостовиков.

На кафедре «Мосты и транспортные сооружения» были созданы лаборатории «Прочностной мониторинг транспортных сооружений», «Эксплуатация и реконструкция транспортных сооружений», «Управляемые мостовые конструкции», «Инженерные методы анализа», «Информационные технологии в транспортном строительстве».



Заседание кафедры МТС. Как видно состав кафедры молодежный



На кафедре сложилась известная в России и за рубежом научная и инженерная школа по разработке методов диагностики и прогнозирования поведения сооружений с учетом реальных условий эксплуатации и моделированию процессов деформирования и разрушения конструкций с учетом воздействия агрессивных сред. Действовала аспирантура и докторантура, Кафедра имела тесные связи с мостостроительными и дорожно-строительными организациями Поволжья, Сибири и других регионов, с вузами и научно-исследовательскими организациями России, стран СНГ и дальнего зарубежья, особенно Словакии, Югославии, Германии, Туниса, Польши, Финляндии.

На выпускников кафедры был очень большой спрос, ибо они могли работать в любых строительных организациях, в том числе мостоотрядах, на строительстве железнодорожных и автодорожных мостов и тоннелей, в дорожно-строительных управлениях на инженерных должностях. Кафедра «Мосты и транспортные сооружения», вероятно, одна из немногих, на которой сохранилось распределение выпускников на работу, существовал конкурс на предлагаемые места, при этом и мест для работы обычно предлагается раза в полтора больше, чем выпускается инженеров. Поэтому грамотный инженер – выпускник кафедры МТС всегда пользуется повышенным спросом. Учебная программа специальности была сориентирована также и на более наукоемкий уровень – инженера-проектировщика, подготовленного к автоматизированному расчету и конструированию инженерных сооружений, а также инженера-исследователя, подготовленного для работы в научно-исследовательских организациях.

В зависимости от потребностей организаций и личных интересов каждый студент мог специализироваться по различным направлениям. В процессе обучения студенты занимались разработкой транспортных систем для городов (скоростные транспортные магистрали на эстакадах, позволяющие снизить загруженность городских улиц; варианты линий метрополитена; монорельсовые транспортные магистрали; сложные транспортные развязки в городах и по их периметру); изучением и разработкой программ расчета сложных инженерных сооружений, разработкой компьютерных банков данных и экспертных систем для решения различных задач транспортного строительства; изучением новейших технологий скоростного строительства и ремонта транспортных сооружений с использованием современных материалов; разработкой новых конструкций транспортных сооружений с использованием бионических принципов конструирования; разработкой проблем транспортной информатики.

Для того, чтобы обеспечить успешное освоение студентами современных технологий, профессорами и доцентами кафедры «Мосты и транспортные сооружения» было издано более 40 учебных посо-

бий и монографий, содержащих обширную и нужную студентам информацию по современным мостовым сооружениям. На кафедре имелась фильмотека, включающая более 40 видеокассет с отечественными и зарубежными техническими фильмами о конструкции и строительстве современных мостов. Учитывая высокий уровень кафедры, на ней проходили стажировку студенты и преподаватели из вузов Европы, Азии и Африки, а студенты мостовики имели возможность проходить стажировку за рубежом.

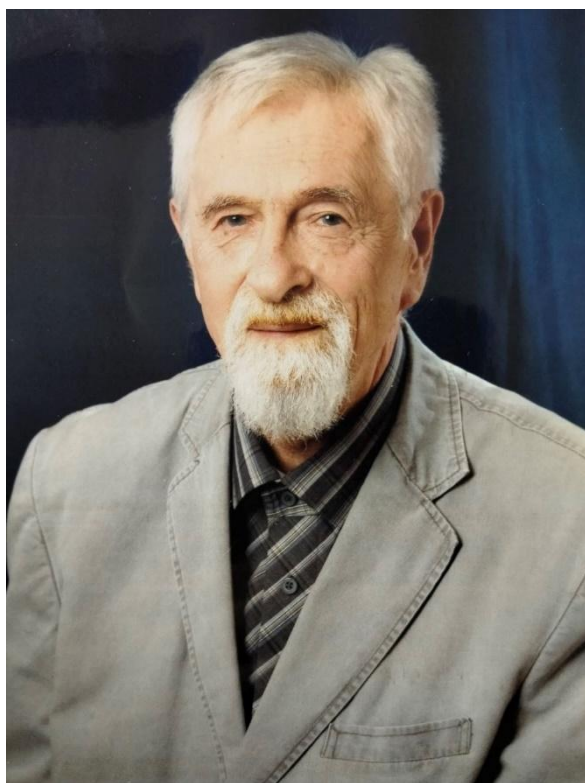
На кафедре «МТС» я проработал заведующим кафедрой до 2011 года. Затем перешел на должность профессора этой кафедры в связи с тем, что в 2008 году мне было предложено возглавить кафедру «Транспортное строительство» Сочинского филиала МАДИ, в котором мы готовили мостовиков и тоннельщиков для проектирования строительства транспортных сооружений Большого Сочи при подготовке к Зимней Олимпиаде 2014 года. А затем я работал и продолжаю работать приглашенным профессором в ряде вузов России, а также Почетным профессором Харбинского технического университета в Китае.

Дорогой Владилен Васильевич!

Под Вашим руководством Саратовский политехнический институт (а затем технический университет) стал весьма эффективно работающим вузом в России, в котором готовились высококвалифицированные кадры инженеров, и особое внимание Вы уделяли подготовке кадров высшей квалификации – кандидатов и докторов наук. По моим прикидкам под Вашим научным руководством и руководством Ваших учеников было подготовлено более 200 кандидатов технических и физико-математических наук и более 20 докторов наук. Под Вашим руководством была создана наиболее эффективно работающая научная школа нелинейной и «агрессивной» строительной механики, причем и сегодня многие разработки этой научной школы опережают то, что делается сейчас на 20–30 лет и пользуются огромным уважением не только в России, но и в других странах.

Под Вашим руководством удалось возродить подготовку мостовиков в СПИ (СГТУ) на таком уровне, что мостовая школа Саратова стала занимать ведущее место в России и признаваться за рубежом, тем более что выпускники этой мостовой школы работали над созданием транспортных сооружений в различных странах.

В день Вашего юбилея я со своими учениками (Вашими научными внуками) рад поздравить Вас с этим праздником, пожелать здоровья, неиссякаемой трудоспособности и дальнейших успехов в деле развития отечественной строительной механики и подготовки высококвалифицированных учеников!



**Карпов
Владимир Васильевич**

*Доктор технических наук, профессор,
Заслуженный работник ВШ РФ,
профессор-консультант кафедры
Информационных систем и технологий
СПб ГАСУ*

ХОТЬ МЫ И ОПЕРИЛИСЬ, НО ГНЕЗДО СВОЕ ПОМНИМ

Вот уже около 60 лет, как я имею удовольствие общаться с учителем и другом Владиленом Васильевичем Петровым.

В 1967 году, тогда еще молодой кандидат технических наук, доцент, при общении очаровал меня своей эрудицией и не только в научных вопросах. Мне захотелось и дальше с ним общаться, и заинтересовали меня нелинейные проблемы теории оболочек, которыми занимался Владилен Васильевич.

В то время мой друг, Филатов Валерий Николаевич, уже был аспирантом Владилена Васильевича, и я составлял программу для ЭВМ исследования термоупругости пластин и оболочек. Программа была сложная для ЭВМ Урал и касалась решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. На ЭВМ первого поколения не было еще математического обеспечения. Все нужно было заготавливать самому: программы вычисления элементарных функций, методов решения различных задач.

В то время (1967 год), не многие могли составлять такие сложные программы для ЭВМ. Я был профессиональным программистом, закончил механико-математический факультет Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, получив специальность математика и специализацию программиста. (1963 г.)

Когда появились первые расчеты устойчивости пластин и оболочек, находящихся в температурном поле и, особенно после того, как мы с В. Н. Филатовым выступили с докладом на 7 Всесоюзной конференции по теории пластин и оболочек (Днепропетровск, 1969 г.), то я понял – это то, чем бы я хотел заниматься и поэтому попросил Владилена Васильевича взять меня к себе аспирантом.

С Филатовым В. Н. мы дружим с 1959 года, когда были членами сборной города Саратова по легкой атлетике. Валерий Николаевич мастер спорта СССР по прыжкам в высоту, занимал первое место на соревнованиях на первенство России, а я выше четвертого места на первенстве России не занимал, но был чемпионом города Саратова в беге на 100 метров и 200 метров.

Научная деятельность требует большого напряжения сил, выносливости, терпения и воли к победе. Все это дает спорт. То, что и я и Валерий Николаевич стали докторами наук, профессорами, в том числе, помогла и спортивная закалка.

В то время, когда я стал аспирантом Владилена Васильевича, уже образовалась научная школа по нелинейным проблемам теории оболочек. Владилен Васильевич разработал метод решения нелинейных задач - метод последовательных нагружений



(как говорили аспиранты, свил гнездо для выпуска птенцов - аспирантов).

Казалось, что я самостоятельно разбираюсь с теми задачами, которые я поставил себе, как математик. Но это только казалось. На самом деле, очень деликатно Владилена Васильевич меня подводил к решению задачи о повышении точности метода по-

следовательных нагружений. И мне удалось разработать модификации метода последовательных нагружений, повышающих точность расчетов.

Владилена Васильевич располагал к себе аспирантов тем, что нет в его отношении формализма. Проконсультировать, подсказать что-то он мог не только в стенах политехнического института, но и у



На фото три аспиранта Владилена Васильевича. На переднем плане Векуа Илья Несторович (X Всесоюзная конференция по теории пластин и оболочек. Кутаиси, 1975 г.).



Участники 16 Всесоюзной конференции по теории пластин и оболочек (Калинин, 1987 г.). Слева направо: первый – проф. Карпов В.В., третий – проф. Ильин В.П., четвертый – проф. Петров В.В., седьмой – проф. Корнишин М.С. и аспиранты Владилена Васильевича



себя дома. Аспиранты обычно заняты целый день и на основной работе, и посещая аспирантские занятия. Порой и пообедать нет времени. И вот здесь обязательно нужно сказать о друге и соратнике Владилена Васильевича, его жене, Светлане Васильевне. Она обязательно накормит аспирантов вкуснейшим борщом, подбодрит.

Когда я защищал кандидатскую диссертацию (1974 г.) Владилена Васильевич был уже доктор технических наук, профессор. Общения наше с учителем продолжалось все время. Появились дружеские отношения, но совместная научная деятельность продолжалась. В советское время были Всесоюзные конференции по теории пластин и оболочек. Были на них и совместные доклады с Владиленом Васильевичем и отдельные встречи.

Одно время мы вместе с семьями отдыхали в спортивном лагере политехнического института около города Маркса на берегу Волги. Жили в палатках рядом. Около палатки Владилена Васильевича был стол и скамейка. Часто приходили и присаживались знакомые

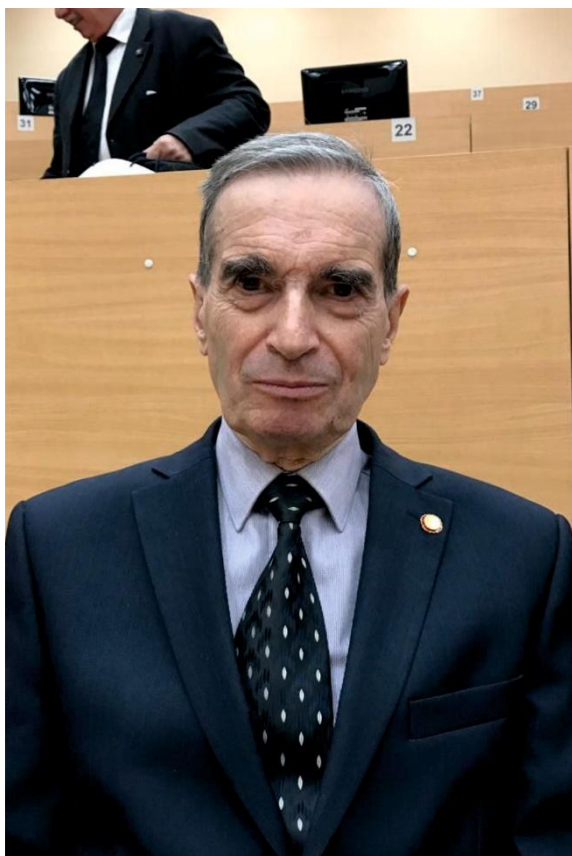
Владилена Васильевича, чтобы пообщаться с ним, настолько он был интересный собеседник.

После того, как я стал доктором технических наук (1988 г.), профессором, то бывал оппонентом у учеников Владилена Васильевича, а он был оппонентом у моих учеников. Общение друг с другом не прерывалось никогда, и я всегда чувствовал, что учитель рядом.

Так что в подготовленном мною 21 кандидате наук и четырех докторов наук есть и заслуга Владилена Васильевича. У каждого свои представления о богатстве. Богатство Владилена Васильевича – это его ученики. За долгую творческую жизнь он подготовил 65 кандидатов наук и 13 докторов наук.

Вся жизнь Владилена Васильевича – это пример преданного служения своей Родине в деле подготовки научных кадров. Можно только пожелать каждому ученому иметь такого учителя, как Владилена Васильевич.

С юбилеем, дорогой учитель и друг, здоровья и долгой творческой жизни.



Травуш Владимир Ильич

*Вице-президент РААСН, д.т.н., профессор,
Заслуженный деятель науки РФ,
Заслуженный строитель РФ,
Лауреат Государственной премии РФ,
премии Совета Министров СССР,
трижды Лауреат премии Правительства РФ*

С Владиленом Васильевичем я познакомился на кафедре строительной механики МИСИ им. В.В. Куйбышева, куда я был принят аспирантом в конце 1961 года. Хотя Владилен Васильевич старше меня на год, к этому времени он уже защитил кандидатскую диссертацию. Дело в том, что Владилен Васильевич поступил в аспирантуру на кафедру строительной механики сразу после окончания института, а я до аспирантуры проработал более трех лет на стройке и на первых порах моей аспирантской учебы Владилен Васильевич дал мне много полезных советов, которые позволили мне быстрее переключиться к новой деятельности.

В аспирантуре проявился научный талант Владилены Васильевича. Будучи аспирантом выдающегося механика Василия Захаровича Власова, Владилен Васильевич в 1961 году в установленный срок в возрасте 26 лет защитил кандидатскую диссертацию, что было крайне редким событием не только в те годы, но и остается теперь, в наше время.

За многолетнюю дружбу я убедился в большой искренней преданности Владилены Васильевича науке, его педагогическом и управленческом таланте. Его научно-организаторская деятельность шла параллельно по двум направлениям: административная работа и научная работа. В Саратовском политехническом институте Владилен Васильевич

был одиннадцать лет проректором по научной работе, а затем ректором этого известного научно-образовательного учреждения, преобразованного затем по инициативе Владилены Васильевича в Саратовский государственный технический университет. За время его руководства, благодаря его энергии и глубоким, разносторонним знаниям Институт перешел на более высокую ступень, став политехническим Университетом и постоянно занимал высокие места в рейтингах вузов России.

Второе направление научно-организаторской деятельности – это руководство кафедрой «Строительная механика и теория упругости», которая затем была преобразована в кафедру «Механика деформируемого твердого тела», а затем превратилась в кафедру «Теория сооружений и строительных конструкций».

Здесь проявился научный талант Владилены Васильевича. Уже в 35 лет, будучи заведующим кафедрой, он блестяще защитил докторскую диссертацию и, обладая большим научным потенциалом, создал школу механиков, подготовив 13 докторов и 65 кандидатов наук в новой области науки – нелинейной механике и теории механической неоднородности. Эти работы помимо интересных новых научных результатов, основанных на учете ранее неизвестных эффектов нелинейных и неоднородных свойств



Персоналии

материалов, имеют много приложений при проектировании сложных механических и конструктивных систем.

Владилен Васильевич прекрасно знает нашу отечественную и зарубежную литературу и музыку. Он разносторонне развит, у него громадное чувство юмора. Мне очень импонирует это чувство и его принципы справедливости.

Мы несколько раз в году встречаемся на научных конференциях, сессиях академии архитектуры и строительных наук, где можно не только обсуждать научные проблемы, но иногда и подшутиться. Помню, как однажды на конференции в Алма-Ате Владилена Васильевича, нашего общего друга Дмит-

рия Николаевича Соболева и меня пригласили в совхоз на бешбармак. Поев это вкусное блюдо и запив его верблюжьим кумысом, мы отправились на ферму с намерением доить верблюдицу. К счастью, остались живы.

Работы Владилена Васильевича украшают нашу строительную науку, а его деятельность поднимает авторитет родного, созданного и выпестованного им Саратовского государственного технического университета и Российской академии архитектуры и строительных наук.

Искренне желаю моему другу Владилену Васильевичу крепкого здоровья, работоспособности и благодарных учеников и последователей.



**Акимов
Павел Алексеевич**

Ректор Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), Президент Ассоциации строительных вузов (АСВ), вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по направлению «Фундаментальные научные исследования», академик РААСН, профессор, доктор технических наук, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых

Для меня Владилена Васильевич Петров – это один из ведущих ученых мирового уровня в области строительной механики, создавший уникальную и широко известную в нашей стране и за рубежом научную школу расчета строительных сооружений с учетом нелинейных факторов и воздействия экстремальных условий эксплуатации.

Первый раз я услышал о В.В. Петрове еще, будучи студентом Московского государственного строительного университета (МГСУ). Услышал от своего будущего научного руководителя, профессора кафедры информатики и прикладной математики МГСУ Александра Борисовича Золотова и от заведующего кафедрой строительной механики МГСУ Николая Николаевича Леонтьева. Владилена Васильевича в МГСУ вспоминали и вспоминают многие. Ведь это наш прославленный выпускник, а потом аспирант и преподаватель, наставником которого был другой легендарный советский ученый – член-корреспондент Академии наук СССР Василий Захарович Власов. Именно в Московском инженерно-строительном институте (МИСИ) им. В.В. Куйбышева Владилена Васильевич в 1970 году защитил и докторскую диссертацию. Ну а затем, представляется, что во многом В.В. Петров и превратил Саратовский политехнический институт в один из ведущих научно-образовательных центров страны, Саратовский государственный технический университет. Научные труды Владилена Васильевича, посвященные разви-

тию аналитических и численных методов решения краевых задач нелинейной механики пластин и оболочек, отличается исключительно высоким уровнем.

Мы сблизились с В.В. Петровым после того, как в 2014 году я был избран Общим собранием Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) на должность главного ученого секретаря РААСН и перешел на работу из МГСУ в РААСН. К Владилену Васильевичу можно обратиться с вопросом и получить неизменно самый мудрый и правильный ответ. Огромной честью для меня стало то, что он выдвинул мою кандидатуру для участия в выборах академиков РААСН в 2017 году. Я до сих пор до мельчайших подробностей помню некоторые встречи и разговоры с В.В. Петровым на различных академических мероприятиях.

В последние годы, к сожалению, нам не так часто, как хотелось бы, удается встречаться очно, но даже простой телефонный разговор с Владиленом Васильевичем вселяет дополнительные силы и энергию, оптимизм и энтузиазм.

В.В. Петров – это опытный наставник, организатор строительной науки и образования, сильнейший ученый, прекрасный человек и надежный друг с великолепным чувством юмора. Я благодарен судьбе, что мы познакомились и можем общаться. От всей души желаю Владилену Васильевичу самого крепкого здоровья, успехов, удачи, реализации творческих планов и новых свершений!



**Есина
Лариса Даниловна**

*Заведующая аспирантурой
Федерального исследовательского центра
«Саратовский научный центр
Российской академии наук»*

И ЭТО ВСЕ О НЁМ

Петрову Владилену Васильевичу посвящается

Вслед за великим русским театральным режиссером Константином Сергеевичем Станиславским, который однажды в начале прошлого века при постановке своего нового спектакля воскликнул: «Не верю!», желая добиться достоверности в игре актеров, я тоже хочу повторить эти же слова.

Я (по Станиславскому) не верю, что в марте 2025 года исполняется **90 лет Петрову Владилену Васильевичу**, незаурядному человеку, крупному и талантливому ученому, реформатору науки и высшего образования в России, отдавшему 65 лет жизни служению родного Саратовского политехнического института (далее упоминается как СПИ, политех, институт, вуз).

Для меня Владилен Васильевич – человек-легенда, который всегда в строю. Сколько бы ни было ему лет, он всегда полон новых идей, интересных мыслей, у него своя особая точка зрения на многие события, явления, процессы, происходящие в мире, в стране, в родном вузе. К чему-то он критичен, исходя из своего жизненного и профессионального опыта, чему-то доказательно рад и одобряет, особенно когда это касается сферы научных исследова-

ний или системы высшего образования. В.В. Петров энциклопедически образован, и даже простые будничные беседы, рядовые обсуждения многих вопросов вызывают неподдельный интерес и дарят истинное удовольствие от ясности мысли, грамотной аргументации, внутренней убежденности в том, что он говорит. В настоящем издании, предлагаемом читателям и посвященном этой юбилейной дате, будет большое количество разных историй и воспоминаний людей, которых судьба свела с Владиленом Васильевичем в различные периоды их жизни. Все они будут разными, и это будет всё о нем.

Моя история и знакомство с Владиленом Васильевичем Петровым начались в далеком 1979 году. В тот период, после успешной защиты им в 35-летнем возрасте докторской диссертации по специальности «Строительная механика», В.В. Петров, как самый молодой доктор наук страны активно продолжал работать в Саратовском политехническом институте: в начале своей успешной научно-педагогической карьеры профессором, затем заведующим кафедрой теории упругости и строительной механики, а с 1975 года – проректором по научной работе.



С большим интересом и увлечением формировал свою научную школу, привлекая в аспирантуру своей кафедры молодых талантливых, успешных в научной работе выпускников строительного профиля. Но в целом аспирантура вуза в тот период была крайне малочисленной и насчитывала всего тринадцать человек. Её эффективность, определяемая количеством защит кандидатских диссертаций, была и того ниже и не превышала 2-3-х защит диссертаций в год. Поэтому в тандеме с ректором вуза, которым в тот период был основатель научной школы и системы подготовки инженерных и научно-педагогических кадров в области атомной и теплоэнергетики, д.т.н., профессор Анатолий Иванович Андрющенко, Владилен Васильевич на заседании ректората, а позже и Ученого совета поставил одну из важнейших для вуза задачу масштабного развития аспирантуры СПИ, решение которой позволит «закрыть» проблему катастрофической нехватки профессорско-преподавательского состава и научных работников, а значит, и обеспечить развитие всего института в целом. Сталинский лозунг «Кадры решают всё» был актуальным не только в 80-ые годы прошлого века, но остается одним из ключевых подходов для решения сложных проблем и сегодняшнего дня.

В тот период, в первую очередь, необходимо было существенно увеличить число научных специальностей аспирантуры, численность самих обучающихся, обеспечить активизацию проводимых аспирантами научных исследований не только по традиционным, но также и новейшим направлениям научных исследований за счет участия молодых ученых в выполнении хозяйственных договоров с предприятиями, результаты которых должны быть подтверждены научными статьями и авторскими свидетельствами. Это должно было привести к качественному скачку и росту эффективности аспирантуры, в том числе существенному повышению количества и качества защищенных молодыми учеными диссертаций и ликвидации «кадрового голода» в вузе за счет притока молодых преподавателей. Однако поиск нового руководителя отдела аспирантуры для решения поставленной задачи затянулся.

Наконец, в один из апрельских дней 1979 года ко мне, в тот период к скромному младшему научному сотруднику лаборатории электронной техники СПИ, подошел заведующий лабораторией и с удивлением сообщил о вызове меня в кабинет проректора по научной работе. До этого момента я никогда не общалась лично с руководством вуза такого высокого уровня. Я с интересом и удовольствием занималась научной работой по своему электронному профилю в рамках хозяйственных договоров с предприятиями, писала статьи и заявки на авторские свидетельства, готовила и выступала с отчетами. Это было

для меня спокойно, привычно и буднично. Поэтому на встречу с проректором по научной работе я отправилась с волнением и тревогой.

«Разговор наш будет не совсем обычным», – начал беседу со мной Владилен Васильевич. А потом без всяких предварительных обходных пояснений предложил перейти на работу в научную часть СПИ в качестве заведующей аспирантурой. Моя первая горячая реакция: «Нет, административная работа – не моё. Научная работа у меня получается лучше», – его не впечатлила. А в ответ я услышала: «Ну, и занимайтесь наукой дальше. Всего-то раз в три года нужно будет зачислить аспирантов, а раз в три года – отчислить. Остальное время пыль со стола будете вытирать. И продолжайте вместе с аспирантами заниматься наукой, только каждый своей. Главное, чтобы наука для них, как и для Вас, стала любимым и успешным занятием. Но в этом Вам личный опыт в помощь».

Так и началась ставшая судьбой моя работа: вначале в должности заведующей аспирантурой, затем начальником отдела послевузовского образования, позже начальником Управления подготовки научно-педагогических кадров, которая продолжалась в политехе почти 35 лет, 20 из которых прошли рядом и под руководством Владилена Васильевича Петрова. Менялись не только таблички с названием моей должности на двери служебного кабинета. Менялась сама глубинная суть моей работы.

Будучи сам ярким, энергичным и успешным человеком и руководителем, Владилен Васильевич стремился и в вузе создать атмосферу такой же успешности, творческого энтузиазма, драйва, инициативности, требуя от своих подчиненных поиска новых нестандартных управленческих решений для достижения наиболее эффективных результатов. Было сложно, но позитивные результаты, постоянное обновление новых целей и постановка новых задач для их достижения, заставляло действовать через «не могу», «не получается», «не благодаря, а вопреки» и вызывало ощущение удивительного подъема и воодушевления. Прошло немного времени, и были дополнительно получены новые лицензии на подготовку аспирантов более чем по двадцати научным специальностям. Численность аспирантов стала увеличиваться: в первые пять лет работы составила около 150 человек, а через несколько лет достигла уровня 200-250 человек. До 35-40 человек возросло и количество кандидатов наук, работающих над докторскими диссертациями. В вузе заметно прибавилось число научных руководителей аспирантов и соискателей из числа докторов и высококвалифицированных кандидатов наук, которым стало интересно и полезно «обрастать» учениками.

Но не зря же китайская мудрость гласит: «Не дай Вам Бог жить в эпоху перемен!» Именно эта



эпоха тектонических политических и экономических перемен конца 80-ых и начала «лихих 90-ых» годов внесла свои коррективы в деятельность вузов России и Саратовского политехнического института в том числе. Так совпало, что в 1988 году коллектив вуза избрал Владилена Васильевича Петрова на должность ректора СПИ, которую он с чувством глубокого понимания изменений, происходящих в стране, постоянно в поисках выбора оптимальных решений руководства вузом в этот период, исполнял до марта 1998 года.

Институт выстоял и продолжал развиваться в эту кризисную эпоху благодаря выбранной после глубокого анализа новой стратегии руководства вузом, предложенной ректором В.В. Петровым, и действиям высокопрофессиональной команды единомышленников, каждый из которых был лидером в той области, за которую по поручению ректора нес ответственность. Это первый проректор Института, профессор Юрий Викторович Чеботаревский, проректор по научной работе, профессор Вазген Рубенович Атоян, проректор по учебной работе, профессор Александр Александрович Захаров. Благодаря пониманию ясно и обоснованно сформулированных и поставленных задач, активную помощь и поддержку ректору и его команде оказывали многие деканы факультетов, заведующие кафедрами, преподаватели и научные сотрудники вуза. Поддержку коллектива СПИ также получило предложение ректора В.В. Петрова по реорганизации политеха в Саратовский государственный технический университет (СГТУ) на основе предложенной им программы по дальнейшему развитию вуза в новых условиях, которое и было успешно реализовано в 1992 году. Университетский

статус позволил дополнительно к имеющимся специальностям существенно расширить вузу его возможности по подготовке студентов в рамках новых, востребованных в стране фундаментальных естественно-научных, технических, технологических, экономических, социологических и гуманитарных направлений. Эти изменения обеспечили укрупнение и обновление материально-технической базы вуза, способствовали росту его финансирования, привлечению в СГТУ высокопрофессиональных преподавателей по вновь открытым специальностям подготовки, потребовали масштабной реорганизации учебного и научного процесса. Это также привело и к серьезной перестройке деятельности аспирантуры вуза, давшей толчок к созданию ряда диссертационных советов СГТУ, в которых было успешно защищено значительное количество докторских и кандидатских диссертаций выпускниками аспирантуры и докторантуры университета, которые в дальнейшем пополнили профессорско-преподавательский состав СГТУ. И в наше время, даже в 2025 году многие из этих людей составляют основной кадровый потенциал университета, обеспечивающий современные достижения вуза.

**Уважаемый, дорогой и любимый
Владилен Васильевич!**

Разрешите искренне и сердечно, от души поздравить Вас **с 90-летним юбилеем!!!** Пусть каждый Ваш день заряжает Вас бодростью и крепким здоровьем, дарит большие и маленькие радости, которые делают Вашу жизнь счастливой! И пусть всегда рядом будут близкие Вам люди, общение с которыми приносит Вам наслаждение!



**Селяев
Владимир Павлович**

*Академик РААСН, доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
Мордовского государственного университета*

**ДРУЖЕСКОЕ ПОЗДРАВЛЕНИЕ
с 90-летним ЮБИЛЕЕМ
ВЛАДИЛЕНУ ВАСИЛЬЕВИЧУ ПЕТРОВУ**

Юбилейные даты всегда вызывают желание подумать о том, что сделано и в каком направлении двигаться дальше.

Но чем больше число лет, тем больше ощущаем как быстро летит время. Совсем недавно были студенческие годы, аспирантура, работа преподавателем, проректором, ректором. Но это время пролетело как мгновение и становится в некоторой степени жаль, что всегда спешил что-то сделать по работе, мало уделял времени семье, близким, друзьям, общению с природой, искусством. В жизни так много интересного, неувиденного, непрочитанного, неиспытанного.

Приходит понимание, что прошедшее время не вернешь и надо двигаться, несмотря ни на что дальше, вперед с учетом ошибок прошлого и новых возможностей в будущем.

В народе принята возрастная градация, согласно которой принято считать, что после достижения 90 лет начинается время мудрости и человек, достигший этого возраста, становится мудрецом. И это действительно так. Опыт прошлых лет дает более полное понимание того «что такое хорошо и что такое плохо».

Мудрецу Владилену Васильевичу Петрову исполняется 90 лет и конечно кому как не ему знать, как бороться с проявлением любой нелинейности. Очевидно, что на каждом этапе жизненного пути необходимо находить простое, разумное (линейное) решение и добавлять его в копилку своего жизненного опыта.

Владилен Васильевич более чем успешно применял инкрементальные методы для решения задач в сложнейших жизненных ситуациях. На родине, в небольшом городке Александрове, были успешно решены главные задачи приобретения знаний, здоровья. Школа, библиотека, спортивный зал, это та основа, которая дала возможность и определила успехи в будущем. На следующем этапе учеба в МИСИ, специалитет, аспирантура, защита докторской в 35 лет, это блестящий результат, приращения (добавления) новых знаний и возможностей, который открыл новые горизонты для движения вперед к должности доцента, затем профессора, заведующего кафедрой, проректора по научной работе, ректора Саратовского политехнического института. Руководитель признанной в мире научной школы. Это



результаты применения принципа «любая прямая короче кривой». Нелинейный путь легче и быстрее можно пройти, если разбить его на линейные участки и применить инкрементальный подход.

Создавая новую нелинейную инкрементальную строительную механику, Владилен Васильевич вполне обоснованно мог бы повторить слова И. Ньютона: «Я видел дальше других лишь потому, что стоял на плечах гигантов». МИСИ ведущий ВУЗ страны, в котором преподавали великие специалисты (гиганты) в области строительной механики, такие как его научный руководитель, член-корреспондент АН СССР Василий Захарович Власов.

С Владиленом Васильевичем мы познакомились в 90-е годы, и дружба продолжается до сих пор.

Узнавая его ближе, я понял, какой это многогранный, многомасштабный человек, который прост в общении, с которым можно решать задачи любого

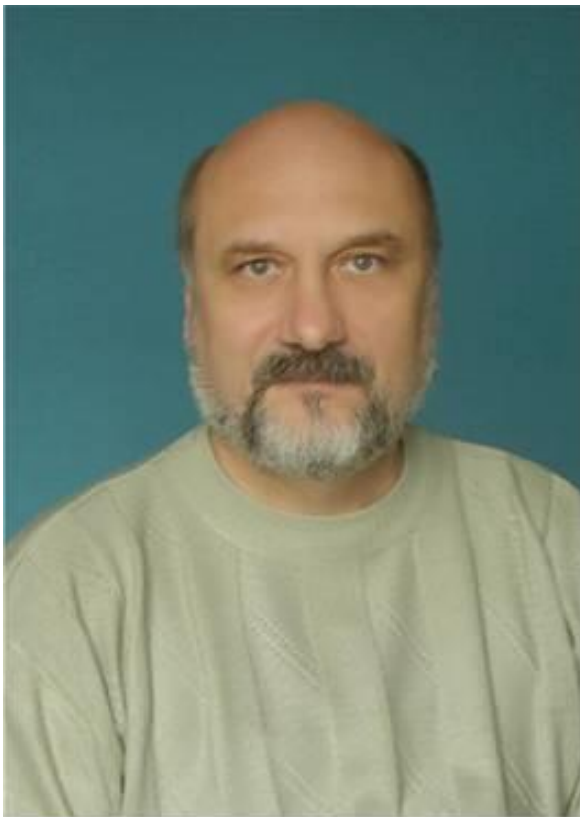
уровня. Наша дружба основана на взаимном уважении, понимании проблем и процессов в этом нелинейном жизненном хаосе, в котором сложно решать глобальные проблемы, но можно, если применять инкрементальный подход.

Владилен Васильевич всегда с большим уважением вспоминает своего научного руководителя, друзей по учебе и занятиям в аспирантуре. Он всегда доброжелателен, философски спокоен, готов выслушать, дать совет, поделиться своими знаниями и опытом.

Общаясь с Владиленом Васильевичем, начинаешь понимать, что нельзя принимать поспешных решений. В любой ситуации возможно несколько решений и их выбор зависит от тебя.

Поздравляю Владилена Васильевича с юбилейной датой, переходом в категорию мудрецов. Желаю здоровья, новых научных достижений, благополучия семье, надежных и верных друзей, учеников.

*С уважением,
академик РААСН В.П. Селяев*



**Трещев
Александр Анатольевич**

*Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительство,
строительные материалы и конструкции»
Тульского государственного университета,
член Национального комитета РАН
по теоретической и прикладной механике,
член-корреспондент РААСН, Лауреат премии
им. С.И. Мосина, Лауреат премии
им. И.А. Гришманова.*

**К ЮБИЛЕЮ АКАДЕМИКА РААСН,
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА
ПЕТРОВА ВЛАДИЛЕНА ВАСИЛЬЕВИЧА**

13 марта 2025 года Владилену Васильевичу исполняется 90 лет. Так получилось, что с академиком РААСН Петровым В.В. первоначально я познакомился опосредованно в период выбора своей профессиональной деятельности после окончания Тульского политехнического института (с 1993 г. Тульский государственный университет) по специальности «Промышленное и гражданское строительство» в 1981 году. В феврале указанного года я был принят на должность инженера отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Железобетона и арматуры» №7 Тульского политеха. Естественно, что дальнейшее мое профессиональное движение предполагало включение в научно-исследовательскую деятельность, либо – кардинальное изменение места и характера работы. Но Тульская школа механики, которую в свое время создал и руководил ею выдающийся ученый 20-го века заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор физико-математических наук, профессор Толоконников Леонид Александрович (ученик чл.-корр. АН СССР Ильюшина Алексея Антоновича) была весьма мощной и широко известной не только в СССР, но и в капиталистиче-

ском мире, каковой остается и в настоящее время. Конечно выглядело бы кощунством с моей стороны не воспользоваться, тем более я уже в школе получил мощный импульс, обучаясь в физико-математическом классе, созданным великим учителем Слободсковым Борисом Анатольевичем.

При выборе направления моих научных исследований мне пришлось много знакомиться с известными публикациями статей (монографий и учебников тогда не наблюдалось) в области механики с учетом физической и геометрической нелинейности, которой совершенно не касались учебные планы, разработанные для инженерно-строительной специальности. И вот тогда я изучил работы не только Толоконникова Л.А. и своего непосредственного научного руководителя – д.ф.-м.н., профессора Матченко Н.М., но и многих других советских, зарубежных ученых, а особенно – результаты исследований, выполненных Владиленом Васильевичем и его учениками: В.А. Крысько; Овчинниковым И.Г.; Иноземцевым В.К.; Кузнецовым В.В.; Макеевым А.Ф. и другими представителями Саратовской школы механики. Конечно не в коем случае не остались без внимания ра-



боты учителя Владилена Васильевича – чл.-корр. АН СССР Власова Василия Захаровича. С этого времени я посчитал Петрова В.В. своим опосредованным научным учителем. После защиты мной диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в июне 1985 года как-то само собой продолжились мои работы в области нелинейной механики деформируемого твердого тела и пространственных конструкций. Время шло, публиковались мои статьи по указанному направлению, как вдруг в 1992 году Толоконников Л.А. предложил мне обобщить свои работы и доложить на научном семинаре. Результат этого доклада вылился в докторскую диссертацию по механике деформируемого твердого тела.

Когда докторская диссертация была скомпонована, и мы с Леонидом Александровичем решали, по каким наукам должна она защищаться (работа подходила под физико-математические и под технические науки), встал вопрос о выборе оппонентов. По поводу двух оппонентов вопросов не было, так как Толоконников Л.А. и я с ними были знакомы по работам и лично (они дали свое согласие после знакомства с диссертацией и после моих докладов). А выбор главного оппонента, если можно его так назвать, возник вопрос: «Кто это может быть?». Леонид Александрович спросил меня: «Кого ты считаешь самым подходящим по теме диссертации?». Я, конечно, растерялся, но позволил предложить Петрова Владилена Васильевича, но при этом высказал сомнение: «Разве он согласится? Ведь он является ректором Саратовского государственного технического университета и академик». На что Леонид Александрович запросто сказал: «Как это если Толоконников попросит должно быть все в порядке. Есть у тебя его номер телефона?». Я ответил утвердительно. Это в настоящее время телефонными номерами нет проблем, а в начале 1990-х годов было не так. Леонид Александрович сразу же позвонил Владилену Васильевичу и при его занятости как ректора их разговор затянулся на продолжительное время. Кроме того, их разговор происходил как между близкими друзьями, которые знают друг друга многие года, а на самом деле они ни разу не виделись и ни разу не разговаривали. Так что я оказался таким субъектом, который познакомил лично двух выдающихся ученых современности. Владилена Васильевича достойно оценил, защищенную мной докторскую диссертацию и обозначил значимость ее для фундаментальной и прикладной науки. Защита диссертации состоялась в диссертационном совете Тверского государственного технического университета, председателем которого был еще один выдающийся ученый, также, как и Толоконников Л.А., является учеником Ильюшина А.А. – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., профессор Зубчанинов Влади-

мир Георгиевич. Тверской диссовет в начале 1990-х годов являлся, по сути, сборной командой ученых СССР, в который входили доктора наук из Твери, Москвы, Санкт-Петербурга, Днепропетровска, Волгограда, Новосибирска и Тулы. Так неожиданно благодаря моей защите в Твери собрался цвет советской науки механики, некоторые из них не были знакомы между собой. Отмечу, что Зубчанинов В.Г. также, как и Петров В.В., на протяжении десяти лет был ректором университета.

Так получилось, что основными методами, которыми мне пришлось пользоваться при построении теорий деформирования и прочности пространственных конструкций с учетом особой физической, геометрической и конструктивной нелинейности, при деградации материалов и возможных температурных колебаниях, послужили градиентный метод последовательных нагружений, двухшаговый метод последовательных возмущений параметров, предложенные и разработанные академиком Петровым В.В. Однако применение этих методов напрямую в рамках, предложенных и экспериментально апробированных мною определяющих соотношениях приводит к изначальным погрешностям уже на первом шаге нагружения. Поэтому эти методы пришлось комбинировать с итерационными процедурами на первом шаге нагружения, и такие конгломераты в продолжение методов академика Петрова В.В. были названы пошагово-итерационными или двухшагово-итерационными. Подобные методики решения нелинейных задач механики используются в современных курсах лекций для магистрантов Тульского гос. ун-та и когда о них рассказываю, то всегда упоминаю о глубинных идеях этих методов, заложенных Владиленом Васильевичем. При этом не перестаю повторять крылатую фразу, которая в современности звучит как «все гениальное просто». Студенты при этом задают риторические вопросы типа: «Как, никому до Петрова В.В., такие идеи не приходили в голову?». А это и есть прозорливость исследователя, базирующаяся на таланте и глубоких фундаментальных знаниях.

Резюмируя приведенное выше, могу сказать, что с начала 1990-х годов меня с Владиленом Васильевичем связывает 30-летние теплые отношения и научное сотрудничество. Он регулярно выступает рецензентом моих монографий, учебников и учебных пособий. Со своей стороны, я и коллектив руководимой мною кафедрой периодически являемся рецензентами научных и учебно-методических работ академика Петрова В.В. Я неоднократно оппонировал диссертации учеников Владилена Васильевича по строительной механике и механике деформируемого твердого тела, а кафедры, которыми заведовал Петров В.В. неоднократно представляла ведущую организацию – Саратовский государственный техни-



ческий университет на защитах моих аспирантов. Владилен Васильевич поддерживал мое избрание в члены Российской Академии Архитектуры и Строительных Наук.

Памятна одна встреча с Владиленом Васильевичем осенью 1997 года в Туле, когда он заехал с ректором ТулГУ Соколовым Э.М. из Лейпцига с выставки проездом в Москву на заседание министерства высшего образования РФ. Я, увидев ректора Саратовского государственного технического университета в сопровождении ректора нашего ТулГУ, набрался решительности и пригласил Владилена Васильевича к себе домой, куда зазвал Толоконникова Л.А. и Матченко Н.М. для совместного «общения». Встреча, что называется, удалась, в процессе беседы Владилен Васильевич поведал, что в Саратове он организовал что-то вроде лаборатории по исследованиям паранормальных явлений. Его рассказ был весьма интересен, и он продемонстрировал один простенький эксперимент, заключающийся в подвешивании над головой на шелковой нити золотого кольца. Известно, что через некоторое время подвеска начинает совершать колебательные движения, причем различающиеся для разных людей. По видам колебаний можно оценить некоторые способности человека. Оказалось, что над головами

профессоров Толоконникова Л.А. и Матченко Н.М. колебания возникали поступательные (ортогонально лицу), а над моей головой эти колебания были очерчены по круговой траектории. Матченко Н.М., обладая тонким чувством юмором, как всегда, решил меня подколоть, заявив, что вот, мол, мы (Матченко Н.М.) с Толоконниковым Л.А. целеустремленные и идем намеченным путем, а ты шалтай-болтай разбрасываешься. На это Владилен Васильевич отреагировал в мою поддержку, сообщив, что и над ним колебания очерчивают круговую траекторию.

Завершая свой рассказ о знакомстве с Петровым В.В., хочу поздравить Владилена Васильевича с юбилеем. Пожелать ему крепкого здоровья, которое как можно дольше позволяло ему творить, разрабатывать новые теории, благодарных и талантливых учеников. Могу прямо сказать, что без Владилена Васильевича, его теорий, нелинейная строительная механика пространственных конструкций и механика деформируемого твердого тела были бы другими, и другим ученым приходилось бы вновь ломать голову, изобретая приближенные методы решения задач, связанные с деформированием элементов, потерей устойчивости, бифуркацией и исчерпанием их прочности в условиях двойной, тройной и четверной нелинейности.



*Президиум национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике. Председатель комитета РАН, академик РАН
Горячева Ирина Григорьевна
(на фотографии в нижнем ряду третья справа)*



**Зубчанинов
Владимир Георгиевич**

*Доктор технических наук, профессор,
член Национального комитета РАН по теоретической
и прикладной механике, Заслуженный деятель науки
и техники РСФСР*

Уважаемый Владилен Васильевич!

Искренне, от души поздравляем Вас с **90-летним юбилеем!!!** Желаем Вам, Вашим родным и близким бодрости, радости, крепкого здоровья, творческого долголетия, благодарных и талантливых учеников, которые делают Вашу жизнь счастливой!

*С уважением,
**И.В. Горячева,
В.Г. Зубчанинов***



**Гордон
Владимир Александрович**

*Доктор технических наук, профессор
Орловского государственного университета
им. И.С. Тургенева, советника РААСН*

ПОЗДРАВЛЕНИЯ ЮБИЛЯРУ! ВЛАДИЛЕНУ ВАСИЛЬЕВИЧУ ПЕТРОВУ

С Владиленом Васильевичем Петровым я познакомился еще в Советском Союзе, если не изменяет мне память, в 1987 году, когда он приехал в Кишинёв с инспекторским визитом в местный политехнический институт, в котором я работал заведующим кафедрой строительной механики. Деятельность структур, с которыми знакомился Владилен Васильевич, была оценена положительно. Его богатый опыт руководящей вузовской деятельности, высказанные им замечания и рекомендации, были с благодарностью восприняты местной научно-педагогической общественностью, что позволило существенно повысить уровень научной, учебной и воспитательной работы в вузе. К сожалению, визит Владилена Васильевича оказался недолгим, что не позволило в «полной мере» ознакомить его с прелестями молдавской природы и быта, нравами и положительными чертами молдавского народа.

В 1990 году я защищал докторскую диссертацию в Московском инженерно-строительном институте, куда Владилен Васильевич прислал отзыв на автореферат. Я занимался статикой и динамикой неоднородных тел, что в определённой мере близко к направлению научной деятельности Владилена Васильевича. Положительный отзыв академика Петрова В.В. решающим образом повлиял на благополучный исход моей защиты, за что я навсегда остался

ему благодарен. Это также способствовало успешной работе нескольких моих аспирантов.

В 1993 году, после известных событий тех времён, я переехал в город Орел – местный филиал Московского приборостроительного института. За минувшие годы ВУЗ получил самостоятельность, прошёл стадии технического университета, государственного университета – учебно-научно-производственного комплекса и объединенного Орловского государственного института им. И.С. Тургенева.

В 2009 году Владилен Васильевич приезжал в город Орел для участия в работе диссертационного совета в качестве оппонента на защите диссертации моего аспиранта Брусовой В.И. Защита прошла успешно, чему способствовал положительный отзыв и личное участие Владилена Васильевича в защите.

Все эти годы, будучи советником РААСН, я встречался с Владиленом Васильевичем на мероприятиях, проводимых академией, всегда с удовольствием и благодарностью общался с всесторонне образованным, мудрым, общительным, с большим чувством юмора человеком – В.А. Петровым.

**Уважаемый Владилен Васильевич!
Поздравляю Вас с 90-летним юбилеем, желаю
на долгие лета сохранить запас прочности, сил, энергии,
здоровья Вам, Вашим родным и близким.**



**Землянухин
Александр Исаевич**

*Доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой,
СГТУ им. Ю.А. Гагарина*

13 марта для меня – с самого утра всегда прекрасный день. Я знаю, что после полудня, с традиционной бутылочкой красного сухого Кьянти, пойду поздравлять с Днём Рождения Владилена Васильевича Петрова.

В Политехнический институт я пришёл в 1989 году, окончив мех – мат СГУ, а на кафедре Владилена Васильевича оказался в 1995 после защиты кандидатской диссертации. В то время Владилена Васильевич был ректором института, и меня искренне удивляло отсутствие, во всех его проявлениях, типичного в подобных случаях налёта сверхзначимости и важности. До этого я пару раз докладывал свои результаты на научном семинаре его кафедры и в итоге получал заряд оптимизма и энтузиазма. Общение всегда было легким, а его огромный научный авторитет не давил на собеседника, но мотивировал и вдохновлял.

Атмосфера на кафедре Владилена Васильевича была замечательная – и преподаватели, и учебно-вспомогательный персонал знали, что *Отец Родной* рядом и всё будет хорошо. В те года я нередко брал в руки гитару, пел и сам немного сочинял. Поэтому особенно комфортно я чувствовал себя на неформальных мероприятиях кафедры за праздничным столом.

По многочисленным просьбам присутствующих Владилена Васильевич исполнял две песни лично. Первым номером всегда шёл чувственный трагикомический романс «Мадам Анжа» на стихи Владлена (!) Бахнова, более известного в качестве сценариста – соавтора Леонида Гайдая. Далее ис-

полнялась «Москва златоглавая (Конфетки – бараночки)», после чего можно было переходить к массовому научно – народному гулянию.

Проработав год ассистентом кафедры, я задумал поступать в очную докторантуру. Несмотря на мой относительно юный возраст и явно не перегруженный научный задел, Владилена Васильевич поддерживал мою инициативу, обеспечив мне возможность три года заниматься наукой, получая стипендию, превышающую (на тот момент) зарплату ассистента. Непродолжительный опыт предыдущей работы однозначно свидетельствовал о невозможности столь благоприятного для меня развития событий в других подразделениях института. Я всегда буду благодарен Владилену Васильевичу за его душевную щедрость, человечность и мудрость. Владилену Васильевичу Петрову, наравне с моим научным руководителем, (позже – научным консультантом) Львом Ильичом Могилевичем, принадлежит основная заслуга в том, что мне удалось в 32 года стать доктором физико-математических наук. И когда я решил вернуться в Альма-матер на мех–мат классического университета, Владилена Васильевич снова поразил меня своим понимающим и беззлобным отношением. Возможно, он предвидел, что лет через девять я вернусь в Политех уже надолго. Так и произошло.

В этом году у Владилена Васильевича Петрова 90-летний юбилей. Я искренне желаю ему Крепчайшего Здоровья, которое позволит нам ещё долго находиться в поле его чудесной ауры, набираясь ума – разума и мудрости! *Кьянти я уже прикупил.*



**Галишникова
Вера Владимировна**

*Доктор технических наук, профессор,
проректор Национального исследовательского
Московского государственного строительного
университета (НИУ МГСУ)*

ЭССЕ О НЕЛИНЕЙНОСТИ МИРА И МЕХАНИКИ

Нелинейность всепроникающа и вездесуща, многолика и неисчерпаемо разнообразна. Она повсюду: в большом и в малом, в явлениях быстротечных и длящихся эпохи. Нелинейность — это рождение и аннигиляция элементарных частиц, гигантское красное пятно на Юпитере и оглушительный хлопок пастушьего кнута, биение сердца и всепроникающий луч лазера, теплый свет свечи и нескончаемая изменчивость волн, болезни и исцеление, вызов искусству аналитика и мастерству экспериментатора, надежды и бессилие создателей теорий и тех, кто подвергает их замыслы суровой экспериментальной проверке.

Юлий Александрович Данилов

Я не помню точно, когда мы познакомились. Знаю я Владилена Васильевича лет с шести, то есть — всю мою сознательную жизнь. Они работали на кафедре вместе с моим отцом, Владимиром Александровичем Игнатьевым, встречались в кругу друзей, вели разговоры о науке и жизни, пели песни под гитару. Я всегда с нетерпением ждала этих встреч, затаивалась в уголке и слушала, слушала...

Общение наше было в высшей степени нелинейным. Следующее яркое воспоминание уже студенческих лет — лекция Владилена Васильевича по строительной механике, посвященная описанию нелинейности в поведении конструкций и методов нелинейных расчетов. Наверное каждый, кто учился у него, отметит, что лектором он был (и остается) блестящим. Мне повезло — он преподавал у нас сопротивление материалов, строительную механику и теорию упругости. Лекции Владилена Васильевича запомнились мне на всю жизнь. Классические методы строительной механики, матричные методы, вариационные методы. Но особенно — эта, о нелинейности. Наверное, именно она, в итоге, определила мою научную судьбу.

Подготовка к работе с нелинейными задачами заняла у меня почти двадцать пять лет, занятых исследованиями стержневых систем: численно-аналитическими методами расчета сетчатых пластин и оболочек в МИСИ имени Куйбышева под руководством профессора Г. И. Пшеничнова, теории вычислительных методов в университете штата Мичиган и Берлинском техническом университете. Наконец, пришло время объединить эти направления и обратиться к Нелинейности.

Это решение стало началом нового этапа нашего научного взаимодействия с Владиленом Васильевичем. Задача была поставлена непростая — разработка теории устойчивости пространственных рам и ее конечно-элементная реализация, дающая возможность корректного анализа изгибающей, крутильной и крутильно-поперечной потери устойчивости стержня рамы. При этом каждый стержень должен быть представлен в вычислительной модели одним конечным элементом без снижения надежности и точности анализа устойчивости конструкции.

Трудно переоценить влияние Владилена Васильевича на формирование общей картины нели-



нейного мира механики в моем сознании, его философии, системы взаимосвязей, и места моего направления исследований в этом мире. На определенном жизненном этапе именно это становится главным для ученого. Однако и многие конкретные задачи получили решение с его помощью. Почти десять лет напряженной работы привели к успешному завершению проекта – диссертация защищена. Но цель остается на горизонте, отодвигаясь по мере движения. Есть еще очень много нерешенных задач, а значит – жизнь продолжается.

Я безмерно благодарна Владилену Васильевичу не только за помощь в подготовке диссертации, но и за прекрасные часы профессионального и личного, дружеского общения, которое продолжается и сегодня.

Только сейчас, пройдя длинный путь в науке, познакомившись и поработав с учеными-механиками разных стран, я могу оценить всю силу таланта ученого и педагога, сумевшего увлечь десятки молодых умов предметом огромной сложности – нелинейной механикой. Даже в настоящее время трудно найти программу подготовки инженеров-строителей, в которой достаточно полно представлены теоретические основы нелинейной строительной механики. Это неудивительно, так как нелинейный анализ требует серьезных усилий – вычислительных, а главное – мыслительных.

Надо признать, что линейные модели обладают рядом достоинств, делающих их весьма привлекательными для инженеров. Их легко сформулировать, поскольку они интуитивно понятны. Для линейных разрешающих уравнений доступны хорошо развитые методы. Благодаря принципу суперпозиции линейные модели могут быть разложены на части, которые легче поддаются обработке, чем модель в целом, а затем повторно объединены для получения общего решения.

Однако многие явления, которые происходят в оригиналах, не могут быть описаны линейными моделями. Диапазон переменных линейной модели неограничен, в то время как в оригиналах существуют ограничения на рост переменных. Линейные модели нельзя использовать для решения задач с обратной связью. Однако их наиболее серьезным

недостатком является то, что они не выявляют бифуркации в сингулярных конфигурациях оригинала.

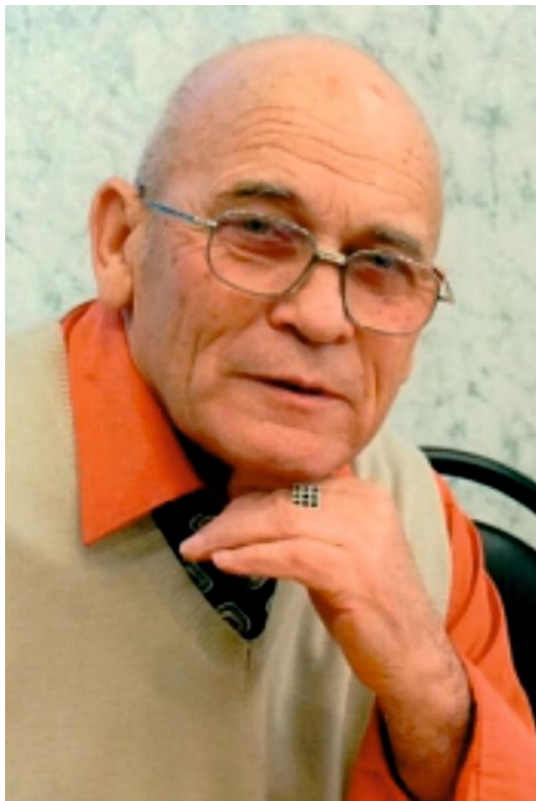
Нелинейные модели лишены этих недостатков. Их анализ приводит к новым научным выводам и выявляет особенности, влияющие на безопасность и надежность инженерных объектов и процессов. Экспериментальные данные, используемые в нелинейной модели не обязательно аппроксимировать линейными функциями.

Но нелинейные модели имеют свои особенности и ограничения. Их нельзя разложить на части, чтобы упростить их обработку, поскольку принцип суперпозиции к ним неприменим. При построении нелинейных моделей трудно использовать интуицию. Методы решения для нелинейных моделей более сложны, и интерпретация их результатов тоже намного сложнее, чем для линейных моделей.

Поэтому любая университетская учебная программа, посвященная проектированию сооружений, должна обязательно включать отдельный курс нелинейной строительной механики. Отдельные ее элементы входят в курсы динамики и устойчивости сооружений, расчетов строительных конструкций, однако проблемы, связанные с нелинейным поведением и устойчивостью сложных конструктивных систем, пока не нашли достойного места в учебных планах. Главная причина такой ситуации — это теоретическая и вычислительная сложность предмета.

Обязательной составляющей любой успешной образовательной программы является наличие научной школы, участники которой могут обеспечить вовлеченность студентов в предмет. В этом смысле Саратову безусловно повезло. Школа нелинейной строительной механики Владилена Васильевича Петрова дает студентам и выпускникам программы «Теория и проектирование уникальных сооружений» уникальные компетенции в этой области. Его учебник «Нелинейная строительная механика» дал основу для развития одноименной дисциплины в университетах России, и не имеет достойных аналогов за рубежом.

Я с глубокой благодарностью и большой любовью поздравляю Владилена Васильевича с юбилеем, и желаю новых свершений и новых творческих идей!



**Байбурин
Вил Бариевич**

*Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
Почетный работник Высшего профессионального
образования РФ, Академик РАН, федеральный
эксперт в научно-технической сфере,
член-корреспондент Международной Академии
высшей школы*

Профессора Петрова Владилена Васильевича я знаю с 1980 года, когда нас трех сотрудников НПО «Тантал»: Директора Умнова Георгия Архиповича, главного инженера Андрианова Владимира Александровича и меня ректор тогдашнего «Саратовского политехнического института» (СПИ) выдающийся ученый и организатор профессор Андрищенко Анатолий Иванович пригласил на работу по совместительству в СПИ.

В то время Владилена Васильевич занимал ответственный пост проректора по научной работе. В 1988 году впервые в истории Саратова прошли выборы, а не назначение сверху, ректора СПИ и коллектив выбрал им профессора Петрова Владилена Васильевича. В этой должности он проработал до 1998 года.

Это были очень сложные годы и для страны, и для нашего вуза. Распался СССР, у власти в России оказались группы людей, которые, прикрываясь лозунгами псевдодемократии, имели целью не единство Родины и её развитие, а власть и корысть. Сразу следует отметить, что наш вуз под руководством Владилена Васильевича с честью и достоинством прошел это трудное время.

По инициативе молодого ректора политехнический институт получил статус Государственного Технического Университета (СГТУ). Важнейшими и приоритетными направлениями вуза были развитие науки и подготовка кадров самого высокого уровня.

Успешная реализация этих направлений была осуществлена во многом благодаря эффективной и слаженной работе команды ректора: первого проректора (в будущем ректора нашего вуза) профессора Чеботаревского Юрия Викторовича, а также проректоров Атояна Вазгена Рубеновича, Захарова Александра Александровича, Архангельского Юрия Сергеевича.

Существенными этапами в реализации указанных направлений развития СГТУ были: создание научно-технологического парка в составе вуза, расширение международных связей, компьютеризация библиотечной среды, появление гуманитарных специальностей и новых специальностей естественно-научного профиля, организация в 1994 году в составе СГТУ Высшей школы бизнеса, где слушатели изучали особенности рыночной экономики. Помимо ряда научных школ в СГТУ по инициативе проф. Петрова В.В. получила развитие научная школа механиков-прочности. Под личным руководством проф. Петрова В.В. были защищены десятки диссертаций докторов и кандидатов наук, авторы которых впоследствии сами стали руководителями новых докторов и кандидатов наук. В результате проф. Петров В.В. был избран действительным членом Государственной Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

Хочу отметить еще один важный момент в деятельности Владилена Васильевича как ректора.



Персоналии

Многие помнят, что история развития нашего вуза проходила на фоне огромной инфляции и экономической неразберихи. На большинстве предприятий месяцами не платили зарплату сотрудникам, а некоторые просто закрывались. В этой ситуации Владилен Васильевич не только обеспечил сотрудникам регулярную выдачу зарплаты, но и взял на себя ответственность за дополнительные доплаты сотрудникам в размере двух-трех ежемесячных окладов. Для них это было огромной материальной поддержкой и помогло многим сотрудникам пережить эти трудные времена с минимальными потерями.

Отличительным качеством проф. Петрова Владилены Васильевича является высокая интелли-

гентность и уважительное отношение к собеседнику, в каком бы он статусе не был.

В последние годы я нередко заходил в рабочий кабинет к Владилену Васильевичу и часто заставлял его в работе, либо над научной публикацией или методическим пособием. Мы подолгу беседовали и это были всегда содержательные и полезные встречи.

Дорогой Владилен Васильевич, искренне поздравляю Вас с 90-летием, здоровья Вам, новых творческих достижений. Вы есть и всегда будите одной из самых ярких творческих личностей, творивших историю нашего вуза.

С уважением, Байбури В.В.



**Артамонова
Елена Николаевна**

*Доктор технических наук,
профессор СГТУ им. Гагарина Ю.А.*

В Саратовский политехнический институт я поступила вне конкурса, как медалистка из школы №15 Летного городка г. Энгельса Саратовской области. Я была старательной, застенчивой студенткой, училась только на отлично и меня назначили старостой студенческой группы. Однажды, когда мы учились на втором курсе при решении экзаменационных задач по «Сопроотивлению материалов» студенты сказали лектору – профессору Бородачеву Николаю Максимовичу, что такие задачи может решить только их староста. Мое решение экзаменационной задачи понравилось лектору Николаю Максимовичу Бородачеву, и он пригласил меня заняться с ним студенческой научной работой. Я, не раздумывая, согласилась.

Однако, на следующий год профессор Бородачев Н.М. переехал на работу в Киевский институт инженеров гражданской авиации, а занятия по дисциплинам прочностного цикла стал вести к.т.н., доцент Петров Владилен Васильевич, молодой выпускник Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева, ученик выдающегося ученого-механика, члена корреспондента АН СССР В.З.Власова.

Моя первая встреча с Владиленом Васильевичем произошла почти 55 лет назад, когда я стала изучать цикл прочностных дисциплин по кафедре "Теория упругости". Я уже «заболела» наукой и обратилась к Владилену Васильевичу с просьбой продолжить занятия студенческой наукой под его руководством. В ответ на мою просьбу я увидела реакцию

доброжелательностью человека с врождённой интеллигентностью, и. Проявление такого чувства такта оставило позади все мои страхи о собственной неуверенности в способности заниматься исследовательской работой.

Молодой доцент поразил студентов своей манерой чтения лекций, свободным владением сложнейшими для нас формулами теории упругости, учил понимать их смысл и логику рассуждений, т.е. сумел заинтересовать и заодно передать глубокий смысл не только теории, но и практики, увлечь в мир знаний.

Владилен Васильевич Петров проявил себя не только уникальным научным лидером, но и воодушевляющим наставником других. Подобный талант Владилена Васильевича взаимодействия с учениками, уникальная научно-исследовательская работа и популяризация науки в какой-то степени объясняют наличие такого огромного количества подготовленных им докторов и кандидатов наук. Сам же Владилен Васильевич достиг фантастического результата в 1970 г. (так расценивалась тогда защита докторской диссертации в возрасте до 35 лет). Достижение им высшего уровня, стало примером и наилучшей поддержкой молодым ученым Политеха.

Владилен Васильевич выступил на ученом совете института с предложением о формировании студенческой группы по подготовке инженеров-исследователей для повышения эффективности профессиональной подготовки студентов. Несколько студентов различных курсов обучения оказались в



одной научно-исследовательской команде под руководством д.т.н., профессора Петрова В.В. Он стал источником идей, помог нам развиваться и расти, ориентироваться в сложной и интересной области. Из нашей первой команды некоторые выпускники стали инженерами-конструкторами, а Иноземцев В.К., Кривошеин И.В. и я отправились в дальнейшее "научное путешествие" и поступили в аспирантуру.

По окончании политехнического института я была счастлива получить вместе с «красным» инженерным дипломом рекомендацию для поступления в аспирантуру по механике деформируемого твердого тела. Поступив в аспирантуру, я оказалась в коллективе единомышленников, живущих насыщенной научной жизнью. Тот факт, что Владилен Васильевич Петров «вел» нас со студенческого кружка, способствовало возможности пораньше вникнуть в проблемы научной школы на кафедре. Такое единое пространство совместных обсуждений, взаимопомощи, доброжелательной критики, талантливо образованное нашим научным руководителем, профессором Петровым В.В., сформировало наш научный кругозор, так начала создаваться научная школа. Впечатляет также научный кругозор и научный профессионализм Владилена Васильевича, что позволяет ему практически на всех научных семинарах сразу осмыслить доклады коллег и доступно объяснить слушателям непонятое.

Приобщение к такому «научному кружку» еще со студенческих лет помогло мне подготовить кандидатскую диссертацию за три года аспирантуры. Во многом, и, возможно, в главном эффективность аспирантуры зависит от качества сотрудничества и взаимопонимания аспиранта и научного руководителя. Владилен Васильевич обладает уникальным талантом руководителя исследовательской работой соискателя научной степени. Он помог формированию моих профессиональных навыков, оказы-

вая помощь на всех этапах процесса работы над диссертацией: в формулировке темы, определении последовательных составляющих исследования, поиске литературных источников, написании научных статей и подборе изданий для их публикации, редактировании статей и рукописи диссертации и т.д.

Во всех научных темах, предложенных Владиленом Васильевичем ученикам для их диссертационных исследований, заложен потенциал для будущего развития, которые могут стать основой для углубленных исследований на многие годы. Например, в моей кандидатской диссертации были рассмотрены нелинейные задачи вязкоупругих пластинок. Через двадцать лет в диссертации на соискание степени доктора технических наук мне были также интересны задачи расчета пластин и оболочек из нелинейного вязкоупругого материала, но уже с исследованием изменения долговечности конструкций с учетом деградациии во времени физико-механических свойств конструкционного материала.

И сегодня актуальны нелинейные задачи при проектировании вязкоупругих элементов, высотных сооружений при кинематических воздействиях. Для решения подобных задач мы успешно используем инкрементальные методы линеаризации уравнений нелинейной механики, автором которых является Петров Владилен Васильевич.

В жизни мне выпал счастливый случай более полувека проработать под руководством Владилена Васильевича, как ректора СГТУ имени Гагарина Ю.А., заведующего кафедрой, а также учиться у него. Я знаю его как непревзойденного в своем профессионализме ученого, преподавателя, разносторонне одаренного доброжелательного человека, отличающегося сильным характером.

Спасибо за Ваше наставничество и поддержку, Академик! С наилучшими пожеланиями! С Юбилеем Вас!



**Андрейченко
Дмитрий Константинович**

*Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой математического обеспечения
вычислительных комплексов и информационных систем
Саратовского национального исследовательского
государственного университета
имени Н.Г. Чернышевского*

С Владиленом Васильевичем мы знакомы чуть меньше полувека. Это счастливое обстоятельство объясняется просто – мои родители друзья Владилены Васильевича и Светланы Васильевны.

Поразительный масштаб дарования: Владилен Васильевич очень крупный ученый в области механики деформируемого твердого тела, нелинейной механики тонкостенных пространственных конструкций, комплексных и специальных задач механики как таковой, и не только в этих областях знания, но он не просто теоретик, а еще и замечательный инженер. Он человек весьма широких научных интересов, и его всегда интересует решение масштабных задач в междисциплинарных областях научного знания. В частности, задачи гидродинамики конструкций, гидроупругости, постановка задач математической физики и поиск эффективных методов численного моделирования в соответствующих предметных областях, проблемы математической теории управления в приложениях к экономическим задачам. Неоспоримая логика и математическая четкость его действий как исследователя в самых разнообразных предметных областях дополняется его удивительной интуицией, приводящей к неочевидным и очень красивым научным результатам, всегда имеющим практические приложения. Кроме того, очень сильные впечатления из моего детства связаны с тем, что Владилен Васильевич обладает несомненным талантом художника и скульптора. Несомненный талант Владилены Васильевича как организатора науки состоит в том, что он смог увлечь своими научными идеями большое количество учеников, и, обозначив направление научных исследований, но не ограничивая жестко их пределы, в наилучшей степени содейство-

вать достижению поставленных целей. Сначала – четкая постановка научной задачи и объяснение, для преодоления каких более масштабных проблем требуется найти ее решение. Как говорит Владилен Васильевич, «для успешного решения любой задачи необходимо посмотреть на проблему сверху». Затем – четкое объяснение, какие научно-технические, информационные и т.д. ресурсы есть в текущий момент для решения задачи. При необходимости – детальный разбор результатов начинающего свою работу научного исследователя. И регулярно проводимые научные семинары на кафедре, для сотрудников технического университета и других вузов, зачастую с приглашением специалистов со смежных кафедр. Как говорит Владилен Васильевич тем, кто докладывает там результаты в первый раз, «семинар у нас достаточно зубастый, но, пожалуйста, не смущайтесь». Т.к. основная цель заседания – быстро войти в суть проводимой работы и при необходимости подсказать докладчику, как далее лучше проводить научные исследования или представление завершенной работы.

С удовольствием вспоминаю годы, проведенные на кафедре механики деформируемого твердого тела и прикладной информатики СГТУ, где сначала я поступил в аспирантуру к Владилену Васильевичу. Замечательные профессионалы в своей области, ученые и инженеры, и очень доброжелательные люди с большой широтой интересов, простые и непосредственные в общении. С благодарностью вспоминаю моего научного консультанта по кандидатской диссертации Вадима Викторовича Кузнецова. Выпускник мехмата МГУ, великолепный профессионал в области функционального анализа, гид-



родинамики, математической физики и методов качественного и численного анализа ее задач. Владилена Васильевич и Вадим Викторович помогли мне понять, что, несмотря на существенное различие методов решения классических задач механики деформируемого твердого тела и гидродинамики, они составляют единое целое, а именно методы инвариантно-группового, качественного и численного анализа задач математической физики. Более того, именно Вадим Викторович обратил мое внимание на тот факт, что укрупнение научных направлений и усложнение научных исследований требует все в большей мере применения различных методов современной прикладной математики, а решение постоянно усложняющихся реальных инженерных задач невозможно без привлечения достаточно серьезных средств вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения.

Руководство научным коллективом – это непростая задача, т.к. творческие натуры обладают весьма незаурядными характерами. И тут несомненный талант Владилена Васильевича помог нам всем

найти общие точки соприкосновения и долгие годы плодотворно работать вместе. Время, когда Владилена Васильевич заведовал кафедрой, был проректором по научной работе и ректором – это целые эпохи в истории СГТУ с их очень достойным сегодняшним продолжением. Мои аспиранты и сотрудники добрыми словами отзываются об организации работы диссертационных советов СГТУ, что являлось в свое время предметом особого внимания Владилена Васильевича. Очень добрый, отзывчивый и проницательный человек, несмотря на свою занятость, Владилена Васильевич всегда находит в себе силы войти в дела и проблемы своих друзей, учеников и сотрудников, и помочь им, и не только мудрым советом.

Поздравляю Вас с блистательным, ярким, достойнейшим Юбилеем! Здоровья крепчайшего, долгих и светлых лет, счастья Вам и Вашим родным и близким самого большого. Успехов, всех побед и свершений, удачи и радости. Все, кого Вы учили, с кем работали долгие годы и просто дарили радость общения, все мы Вас безмерно любим!



**Землянский
Анатолий Андреевич**

*Доктор технических наук,
профессор БИТИ НИЯУ МИФИ*

Многоуважаемый Владилен Васильевич!

Педагогический коллектив Балаковского инженерно-технологического института (филиал) НИЯУ МИФИ и я лично сердечно поздравляем Вас с Юбилеем, связанным с 90-летием со дня рождения, который Вы встречаете энергичным, полным жизненных сил, с вдохновением и с великими целями в Вашей душе, что помогает Вам быть всегда удивительно светлым, неординарным и невероятно доброжелательным. В вашем окружении по этим качествам, силе духа и уровню Интеллекта, Вам просто нет равных!

При внимательном анализе Вашей жизни, прослеживается удивительная неординарность. В детстве и юношестве Вы занимались спортивной гимнастикой, легкой атлетикой и даже классическим балетом и театром, увлекались коллекционированием минералов и полезных ископаемых, начиная от руд и кончая полудрагоценными камнями. Везде здесь нашли применение Ваши способности по систематизации многофакторных и неупорядоченных систем. Неординарность в исследовательской деятельности позволила Вам в 1961 году успешно защитить кандидатскую диссертацию в Московском авиационном институте им. Серго Орджоникидзе. Тогда Вам было 26 лет. А в 1970 году блестяще защитить докторскую диссертацию в МИСИ им. В.В.Куйбышева и тогда Вам было только 35 лет. Казалось, что Вам все давалось играючи. Но это было свойственно Вам, как человеку, который умеет решать сложные задачи в короткие сроки, и объясняется это скоро-

стью работы Вашего сознания и активности Вашего мозга при, казалось бы, странной внешней медлительности Вас как человека.

Неординарность проявилась в том, что Вы были самым молодым доктором наук, когда начинали работать в Саратовском политехническом институте и самым молодым проректором по науке в этом же Вузе.

Именно Вами в университете была создана совершенно новая система организации научно-исследовательских работ в учебном Вузе на основе, так называемого программно-целевого метода планирования научных исследований. В результате уже в начале 1980 года объем, и доля НИР по важнейшей тематике увеличилась в 2,5 раза.

В 1988 году коллектив СПИ впервые в Саратове тайным голосованием избрал Вас ректором СПИ, и Вы сменили на этом посту ушедшего в отставку Великого ректора – Анатолия Ивановича Андрущенко – организатора Саратовского политехнического института, который превратил СПИ в технический Вуз нового поколения: было резко расширено количество факультетов, филиалов и других структурных подразделений. Именно в эти годы и под Вашим руководством СПИ был преобразован в Саратовский государственный технический университет – СГТУ, что стало трамплином для его последующих достижений, и СГТУ, по рейтингу РФ, вошел в пятерку ведущих технических университетов страны. Огромное внимание Вы уделяли кадровой политике



и работе всех филиалов и подразделений, В 1989 году, именно при Вас, в университете был установлен своеобразный рекорд по числу защищенных докторских диссертаций.

Вы всегда обладали и обладаете невероятной способностью чувствовать талантливых людей, как в системе управления, так и в науке. Именно умение выделять этих людей и активно помогать им в претворении их неординарных идей в производство и в жизнь отличает Вас от многих жестких и маститых руководителей, не имеющих данной жилки. Я благодарен судьбе и лично Вам за то, что именно Вы выделили меня в 1997 году из педагогического коллектива Балаковского института техники технологии и управления и возложили на меня очень серьезные обязанности директора института, неустанно помогая на первых порах. Именно тогда наш институт, с Вашей легкой руки, вошел в пятерку лучших филиалов бывшего Союза, как по качеству основных фондов, оснащенности современным учебным оборудованием, уровню квалификации и острепенности педагогических кадров так и по качеству предоставляемых образовательных услуг.

Чувствуя Вашу поддержку, именно при Вас мы получили Лицензию на обследование и оценку уровня остаточного ресурса атомных и экологически опасных объектов, что позволило нам резко увеличить объем хозяйственных и научно прикладных исследований по региону и внести свой достойный вклад в формирование положительного имиджа университета. Именно при Вас и непосредственно при Вашем участии в нашем филиале созданы: Институт бизнеса и делового администрирования (ИБиДА), Авторизованный центр компьютерных технологий (Aptech), подразделение «Инженер-переводчик в сфере коммуникационных сред».

С Вашей легкой руки Национальный комитет Европейской Бизнес Ассамблеи (ЕБА, Оксфорд, Великобритания) предоставил коллективу нашего института международный Сертификат качества предоставляемых услуг, приравняв нас к Европейским университетам, что потом использовалось при аттестации и аккредитации головного университета.

В библии сказано: «...В мире много званых, но мало избранных...» и, по-моему, это относится лично к Вам: что бы Вы не делали, и за что бы Вы не брались, Вы всегда достигаете Победы. Победы не благодаря, а вопреки всему, вовлекая при этом весь коллектив в неустанную работу в выбранном стратегическом направлении, которая всегда была и будет беспроектной пока на боевом посту и в активной системе управления есть такие профессионалы как Вы, у которых нет ни возраста, ни каких-то других помех. Получая в последние годы лицензию на специальность «Строительство уникальных зданий и сооружений», Вы поставили коллективу задачу: Данная специальность появится в университете только тогда, когда на факультете и выпускающей кафедре появится аэродинамическая труба, как в ЦАГИ. Никто не верил в это чудо, но она была спроектирована с Вашим участием и изготовлена и стала активно использоваться при дипломном проектировании высотных и уникальных зданий и сооружений, приводя в неописуемый восторг, как студентов, так и аспирантов и преподавателей других Вузов. Я очень горжусь тем, что судьба позволила мне оказаться в орбите Вашей жизни, и всегда благодарен Вам за Вашу неоценимую помощь и участие в моей судьбе.

Вы являетесь ярким представителем «Играющих тренеров», к которым обычно относят людей, уровня Леонардо да Винчи, которые могут создавать не только эффективные математические модели, но и действующие пилотные и натурные уникальные объекты сказочной красоты с удивительными техническими параметрами. А Ваши методы решения краевых задач нелинейной механики пластин и оболочек имеют огромную перспективу в космической индустрии, авиастроении, ракетостроении, в расчете сложных параболических антенн космической связи и пространственных фундаментов нового поколения с преднапряжением по грунту для создания интеллектуально-разумных объектов нового технологического уклада.

Искренне и сердечно желаю Вам нескончаемого здоровья, бодрости, незаурядной активности и неподражаемых творческих успехов, способных удивить этот мир, на благо процветания нашей Отчизны.



Овчинников Илья Игоревич

*Доктор технических наук,
доцент кафедры «Транспортное строительство»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.,
профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11»
Тюменского индустриального университета,
кафедры «Автомобильные дороги, мосты
и транспортные сооружения»
Уфимского государственного нефтяного
технического университета,
преподаватель департамента развития
отраслевого образования ФАУ «РОСДОРНИИ»*

В Саратовский государственный технический университет я поступил в 1999 году, окончив с серебряной медалью школу-лицей №2 г. Саратова. В результате раздумий и сравнений я выбрал мостовое направление, как одно из наиболее перспективных. Следует отметить, что в то время на данном направлении был довольно большой конкурс, и проходной балл (оцениваемый по двум предметам – математике и физике, максимально 10 баллов за каждый предмет) составлял 18 баллов из 20. На потоке на 1 курсе училось около 60 студентов-мостовиков и примерно столько же дорожников.

Наш поток отличался тем, что профильные базовые предметы у нас преподавали хорошие специалисты, занимавшие высокие должности в университете.

Одними из самых сложных дисциплин в инженерном деле являются «Сопротивление материалов» и «Теория упругости и пластичности». На данных дисциплинах я впервые познакомился с профессором Петровым Владиленом Васильевичем, как с преподавателем. На его лекциях практически всегда была полная посещаемость. Лекции Владилен Васильевич вел очень хорошо, не читал по конспекту, а рассказывал, чертил на доске, материал преподавался довольно доступно. Практические занятия по данным дисциплинам вели ученики Владилен Васильевича – доценты Семенов Петр Константинович и Кривошеин Игорь Васильевич.

Особенно мне запомнился экзамен по дисциплине «Теория упругости и пластичности». Экзамен Владилен Васильевич принимал в своем кабинете, а

не в аудитории. Мы заходили по одному, вытягивали билет и при преподавателе начинали отвечать. Мне достался вопрос по методам расчета пластин (метод Бубнова-Галеркина, Власова-Канторовича, Леви-Навье и т.д.). Я ответил на общие вопросы, после чего Владилен Васильевич начал задавать дополнительные вопросы, довольно сложные, но с которыми я, подумав, справился. Это был один из самых сложных экзаменов не только для меня, но и для всей нашей группы, который, к сожалению, не все смогли пройти, но кто прошел, в дальнейшем успешно завершили обучение и стали специалистами-мостовиками, достигнув больших высот в своей профессиональной деятельности. Вообще, среди студентов-мостовиков царил дружественная атмосфера, мы знали ребят на несколько курсов старше и младше, и даже вместе ездили играть в футбол в спортивный зал Мостоотряда №8 в г. Энгельсе.

После окончания университета я поступил в аспирантуру к коллеге и товарищу Владилену Васильевичу, также бывшему выпускнику Саратовского политехнического института, профессору Игнатьеву Владимиру Александровичу, по направлению 05.23.17 «Строительная Механика». Кандидатскую диссертацию я защитил досрочно в 2006 году, после чего вернулся работать на должность ассистента, а затем доцента на свою профильную кафедру – «Мосты и транспортные сооружения» (затем «Транспортное строительство»). Работая, продолжал по мере возможности заниматься научной деятельностью, правда с небольшими перерывами, связанным с разработкой нормативных документов по до-



рожно-мостовой тематике (являюсь соавтором и руководителем разработки 7 нормативных документов уровня ГОСТ Р и ОДМ). Также я поступил в докторантуру, под научное руководство Петрова Владилена Васильевича, которую успешно завершил и в 2024 году успешно защитил докторскую диссертацию по научному направлению 2.1.9 «Строительная механика» в диссертационном совете Воронежского государственного технического университета.

Перед защитой я очень волновался, мы несколько раз устраивали предзащиту на кафедре, и после внесения всех корректировок и правок в работу и доклад, Владилен Васильевич сказал, что теперь он спокоен за меня, и дал свое благословление на защиту. Таким образом, в настоящий момент я по-

полнил список докторов наук (надо сказать, весьма обширный), защитивших свою диссертацию под научным руководством Владилена Васильевича.

Во Владилене Васильевиче меня всегда поражала его работоспособность, приверженность своему делу и полная самоотдача. Даже сейчас, несмотря на свой почтенный возраст, Владилен Васильевич ведет занятия со студентами, и, пару раз присутствовав на занятиях, я вижу, что Владилен Васильевич все также на высоком уровне работает с аудиторией и пользуется большим уважением среди студентов и сотрудников кафедры.

Я с глубокой благодарностью поздравляю Владилена Васильевича с юбилеем, и желаю новых свершений и новых творческих идей!



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК
ЦЕНТРАЛЬНОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ВЕРХНЕВОЛЖСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО**

153000, г. Иваново,
Шереметевский пр., 21

Тел. (4932) 41-75-09
Email: vv.repr.raasn@gmail.com

13.03.2025 г.

Уважаемый Владилен Васильевич!

Руководство Верхневолжского Представительства Центрального территориального отделения РААСН от всего сердца поздравляет Вас с Юбилеем!

Примите самые искренние поздравления и выражение глубокой признательности за Ваш вклад в развитие науки! Быть ученым – это значит не принадлежать себе, ведь наука требует колоссальных затрат времени и сил!

От всей души желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, радости и активной плодотворной работы! Пусть накопленный жизненный опыт и мудрость помогут достичь Вам новых высот!

Руководитель,
академик РААСН

С.В. Федосов

Зам. руководителя по
направлению
строительных наук,
чл.-корр. РААСН

В.Е. Румянцева



**Маилян
Левон Рафаэлович**

*Академик РААСН,
д.т.н., профессор,
Заслуженный строитель РФ*

С ЮБИЛЕЙНЫМ ДНЕМ РОЖДЕНИЯ, УВАЖАЕМЫЙ ВЛАДИЛЕН ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕТРОВ!

Уважаемый Владилен Васильевич!

Ассоциации «Объединение строителей Южного и Северо-Кавказского округов», «Объединение проектировщиков Южного и Северо-Кавказского округов» и «Объединение изыскателей Южного и Северо-Кавказского округов», объединяющие свыше двух с половиной тысяч строительных, проектных и изыскательских организаций, сердечно поздравляют Вас с замечательной юбилейной датой – 90-летием со дня рождения!

Вы подаете всем нам прекрасный пример интеллектуальных, творческих и физических сил!

Вами рассчитаны, запроектированы, построены и возвращены в строй десятки уникальных объектов - зданий и сооружений федерального и регионального значений, подготовлено десятки научных кадров высшей квалификации!

Плодотворная организаторская, инженерная, научно-исследовательская, деятельность, осуществляемая Вами, принесла нашей стране тысячи инженеров, сотни научных работников, десятки руководителей строительной и технической отраслей!



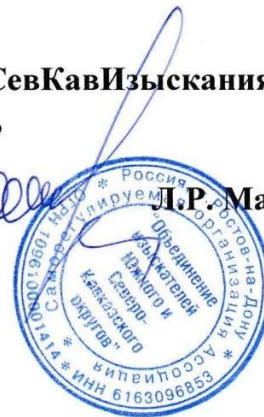
В основе всего этого - большая доля Вашего личного труда!

Ваши научные заслуги, эрудиция, интерес ко всему новому, чуткость и внимание к людям снискали Вам по праву заслуженную репутацию замечательного инженера, классного ученого, прекрасного педагога, высоко-квалифицированного специалиста, хорошего товарища по оружию!

А Вашим мужским обаянием можно только восхищаться!

Здоровья, успехов в Вашей деятельности, счастья и благополучия, исполнения всех Ваших желаний!

**Председатель Правлений СРО Ассоциации
«ЮгСевКавстрой», «ЮгСевКавПроект», «ЮгСевКавИзыскания»
заслуженный строитель Российской Федерации,
академик РААСН,
доктор технических наук, профессор** **Д.Р. Маилян**





13.03.2025

Глубокоуважаемый Владилен Васильевич!

От имени коллектива Ивановского государственного политехнического университета и от себя лично сердечно поздравляю Вас с Юбилеем!

От всей души желаю Вам здоровья и благополучия, новых творческих свершений и удачи во всем!

Уверена, Ваш авторитет, целеустремленность, профессиональные организаторские и человеческие качества будут и впредь способствовать укреплению и повышению роли российской строительной науки, подготовке высококлассных специалистов и поиску решений актуальных проблем и новых вызовов нашего неспокойного времени!

.....**Никифорова Е.Н.**

И.о. ректора Ивановского Государственного политехнического университета





С юбилеем!



**Румянцева Варвара
Евгеньевна**

Доктор технических наук,
профессор, член-
корреспондент РААСН
Заслуженный работник
высшей школы РФ

Дорогой Владилен Васильевич!

**Мужчине годы вовсе не помеха, и
В день рождения хочу вам пожелать:
Активности, здоровья и успеха,
Чтоб все сполна от жизни получать!**

**Желаю дней погожих, без ненастья,
Добра, достатка, света и тепла,
Чтобы любовь всегда давала счастье,
Удача рядом постоянно шла!**





Персоналии

Академику Российской академии архитектуры и строительных наук,
доктору технических наук, профессору

**ПЕТРОВУ
ВЛАДИЛЕНУ ВАСИЛЬЕВИЧУ**

90



Глубокоуважаемый Владилен Васильевич!

От имени коллектива Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета и членов Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук сердечно поздравляем Вас с юбилейной датой 90-летием со дня рождения.

Ваш жизненный путь служит ярким примером беззаветного служения российской науке и высшей школе. Вы являетесь видным ученым, незаурядной личностью, хранителем лучших традиций российского образования. Ваш вклад в развитие фундаментальной науки весом и значителен. Вы создали уникальную и широко известную в России и за рубежом научную школу, успешно разрабатывающую проблемы расчета сложных инженерных сооружений с учетом нелинейных факторов и воздействия экстремальных условий эксплуатации. Вы регулярно публикуете результаты своих научных исследований в научных статьях, монографиях, сборниках научных трудов, тезисах докладов международных и всероссийских конференций и конгрессов. Вы являетесь автором более 300 публикаций, из которых 7 монографий, 24 учебных пособия. Ваши работы являются образцом научных исследований высочайшего класса

и хорошо известны отечественным и зарубежным специалистам.

Отрадно, что Вы неизменно уделяете серьёзное внимание подготовке молодых учёных, многое делаете для укрепления кадрового потенциала отечественной науки. Особенно ценным стал Ваш многолетний опыт научного руководства. Вами **подготовлено 12 докторов и 64 кандидата наук**. Многие из Ваших учеников сами стали уже крупными учеными и работают над созданием своих научных направлений. В течение 25 лет Вы возглавляли специализированный Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, в котором более 300 ученых Поволжского и других регионов РФ и зарубежья успешно защитили свои диссертации. Все, кому довелось с Вами трудиться, знают и ценят Вас как компетентного руководителя, авторитетного учёного, который внёс и продолжает вносить значимый вклад в развитие научной мысли. С Вашим именем связано появление целого ряда новых, перспективных направлений исследований, значимые фундаментальные труды, яркие научные открытия.

Вы вносите большой вклад в развитие высшего образования и подготовку инженерных кадров. Ваш талант педагога, знания, богатейший опыт, орга-



низаторские способности особенно проявились на посту ректора Саратовского политехнического института (СПИ). В эти годы институт получил статус Саратовского государственного технического университета и стал одним из ведущих технических вузов страны. Будучи ректором СГТУ, Вы организовали как структурное подразделение университета Высшую школу бизнеса, явившуюся одной из первых школ бизнеса в России. После ухода в отставку с поста ректора СГТУ Вы в течение нескольких лет были директором этой школы и организатором бизнес-образования в Саратове.

Высокий профессионализм, глубокое научное мышление, эрудиция, прекрасные человеческие качества снискали Вам заслуженную славу, глубокое уважение и авторитет как в научной среде, так и среди многочисленных студентов, учеников и последователей, у представителей общественности.

Ваша научная и педагогическая деятельность высоко оценены: Вы являетесь кавалером орденов «Почета» и «Дружбы» и ряда медалей, Вам присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР», Вы удостоены звания «Почетный работник высшего образования России», Госстрой наградил Вас знаком «Почетный строитель России».

Дорогой Владилен Васильевич!

В этот прекрасный день примите наши самые искренние поздравления. Желаем Вам крепкого здоровья, душевного спокойствия, долгих лет жизни и, конечно, талантливых учеников и последователей, вдохновленных Вашими идеями. Пусть Ваши замечательные качества человека и ученого будут залогом успеха дальнейшей плодотворной работы!

С глубоким уважением,

Ректор ННГАСУ, советник РААСН

Председатель Приволжского ТО,
академик РААСН

Д.Л. Щеголев

А.Л. Гельфонд

13.03.2025



**Сколубович
Юрий Леонидович**

*Ректор НГАСУ (Сибстрин)
член-корреспондент РААСН,
д.т.н., профессор*

Уважаемый Владилен Васильевич!

От всей души поздравляем Вас с юбилеем! Ваши мудрость, многолетний опыт и профессионализм являются составляющими тех успехов, которых добились Вы с Вашими учениками. Ваш жизненный путь – это пример целеустремленности, упорства и веры в свои знания и силу. Вы всегда остаетесь ориентиром для своих учеников, коллег.

Желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, творческого долголетия и радости в жизни.



**Рахимов
Равиль Зуфарович**

*Член-корреспондент РААСН, д.т.н., профессор,
Заслуженный деятель науки и техники
Российской Федерации, Лауреат премии
правительства РФ и Государственной премии РФ,
Заслуженный профессор КГАСУ,
Почетный строитель России,
Почетный работник высшего образования России*

ДОРОГОЙ ВЛАДИЛЕН ВАСИЛЬЕВИЧ!

Сердечно поздравляю Вас с юбилеем!

От чистого сердца
С открытой душой
Сегодня желаю
Вам жизни большой
Чтоб было здоровье
И счастье, и радость!
Чтоб годы летели
И не были в тягость!

13.03.2025





*Многоуважаемый
Владимен Васильевич!*

От имени Белорусской строительной науки мы искренне поздравляем Вас с 90-летием и желаем здоровья, научного долголетия и успехов в трудовой деятельности.

Мы знаем Ваши научные труды и достижения, уважаем и помним учеников Саратовской научной школы строительной механики.

Иностраный член РААСН, к.т.н.

К.т.н., доцент

Д.т.н., профессор

А.И. Мордич
С.В. Босаков
13.03.2025

Мордич А.И.

Козунова О.В.

Босаков С.В.



**Римшин
Владимир Иванович**

*Член-корреспондент РААСН,
Заслуженный строитель Российской Федерации,
д.т.н., профессор НИИСФ РААСН*

Уважаемый Владилен Васильевич!

Примите сердечные поздравления с юбилейной датой 90-летием со Дня вашего рождения.

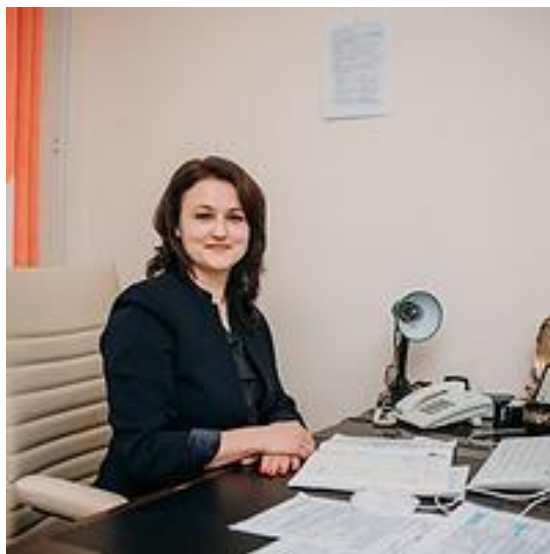
Вы известный в нашей стране и за рубежом ученый-теоретик, являетесь автором многочисленных трудов и творческих открытий в области строительной механики и теории расчетов строительных конструкций, зданий и сооружений.

Ваша огромная плеяда учеников развивает и дополняет ваше научное наследие, способствуя процветанию вашей научной школы и поднятия ее на небывалые высоты. Вы по достоинству оценены государством, которое отметило Вас многочисленными чинами и наградами.

Желаем Вам уважаемый Владилен Васильевич крепкого здоровья, творческого долголетия, направленного на благо нашей родины России.

13.03.2025 г.

В.И. Римшин



Уважаемый Владилен Васильевич!

Жизнь человека измеряется не годами, а тем, что он в ней сделал и чего достиг, ему столько лет, на сколько он себя чувствует. Это ярко подтверждается Вашим примером.

За Вашими плечами весомый жизненный путь, пройденный достойно и плодотворно. Ваш профессиональный опыт, талант руководителя, целеустремленность, ответственность заслужили всеобщее уважение и признание.

Вы тот человек, который подает пример жизнелюбия, бодрости, оптимизма. Интеллект, юмор, коммуникабельность, доброта и искренность – это о Вас.

Вы внесли неоценимый вклад в развитие советской, российской науки и в подготовку научных кадров.

Ваших учеников много на необъятных просторах Российской Федерации и других стран, в том числе и в Республике Казахстан.

90 лет – прекрасный, благословенный юбилей.

В этот знаменательный день коллектив Баишев университета (город Актюбинск, Казахстан) поздравляет Вас с днем рождения и желает Вам крепкого-крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и больших творческих успехов в Вашем благородном деле.

Пусть Вас всегда окружают внимание, забота и уважение родных, близких, коллег и окружающих. Будьте же и впредь также бодры и оптимистичны, полны планов и интересных задумок.

Лыгина

Ольга Ивановна

*Ректор Баишев университета,
PhD доктор, член-корреспондент
Национальной Академии Наук
Высшей Школы Казахстана*

Исакулов

Баизак Разакович

Советник РААСН, д.т.н., профессор



**Гаджиев
Мухлис Ахмедович (оглы)**

*доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
Азербайджанского университета архитектуры
и строительства, председатель диссертационного совета*



Уважаемый Владилен Васильевич!

Сердечно поздравляю Вас с 90-летним юбилеем со Дня рождения!

Весь Ваш жизненный путь – яркий пример патриотического служения Родине, преданности и многолетнего добросовестного служения благородному делу просвещения и науки. На всех должностях Вы проявляете талант руководителя. Доктор технических наук, профессор, академик Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Почётный строитель РФ, автор более 200 научных работ по нелинейной механике, в том числе 30 учебных пособий и монографий по различным разделам менеджмента – это все о Вас, уважаемый **Владилен Васильевич**.

Вами достигнуты успехи в нелинейной механике твёрдого деформируемого тела, созданы методы расчёта тонкостенных пространственных си-

стем с учётом геометрической и физической нелинейности и агрессивной внешней среды. Вами развиты инкрементальные методы линеаризации уравнений нелинейной механики, разработана теория наведённой неоднородности, которая позволяет определить долговечность и запас устойчивости конструкций при накоплении в них повреждений, вызванных воздействием агрессивных сред.

Благодаря Вашим личным качествам: огромной работоспособности, выдающимся организаторским способностям, умению мобилизовать на достижение намеченной цели – Вы принесли огромную пользу стране. Ваши заслуги неоднократно отмечены государством. Мудрость, огромный жизненный опыт, высочайший профессионализм, трудолюбие и самоотдача снискали Вам заслуженный авторитет, признание и уважение коллег и учеников. Выражаю Вам глубокую благодарность за большой



вклад в науку, в деятельность университета, подготовку научно-педагогических кадров и квалифицированных специалистов. Ваши ученики принимают активное участие в научных мероприятиях, проводимых в Азербайджане.

Разрешите в этот торжественный день пожелать Вам доброго здоровья, неиссякаемой энергии и

оптимизма, удачи, новых творческих успехов, талантливых и благодарных учеников, неутомимых сил и большого энтузиазма, великих достижений и значительных успехов, почёта и уважения, всеобщего признания и перспективных предложений, жизненной энергии и бодрости, исполнения всех Ваших творческих планов, жизненных замыслов и надежд.



Уважаемый Владилен Васильевич!

Примите самые теплые поздравления с Днем Вашего рождения!

В этот особенный для Вас день желаю прекрасного настроения, душевного подъема и оптимизма. Созданная Вами научная школа по теории нелинейной механики твёрдого деформируемого тела, теории наведённой неоднородности, методам расчёта тонкостенных пространственных систем с учётом геометрической и физической нелинейности и агрессивной внешней среды, по праву является лидером архитектурно-строительной науки. Под ва-

шим руководством подготовлено и воспитано несколько поколение ученых, инженерных кадров и специалистов.

Я многие годы работал на кафедре под вашим руководством, принимал совместно с Вами активное участие в международных и всероссийских научно-практических конференциях, на заседаниях Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). Вы были великолепным руководителем, ценным учителем, достойным внимания и глубокого уважения.

**Гарибов
Рафаил Баширович**
*доктор технических наук,
советник РААСН*



**Глаголев
Вадим Вадимович**

*Доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой*

Глубокоуважаемый Владилен Васильевич!

Коллектив преподавателей и сотрудников кафедры вычислительной механики и математики Тульского государственного университета сердечно поздравляет Вас с юбилеем – 90-летием со дня рождения! Желаем Вам крепкого здоровья, успехов в научном творчестве и в личной жизни!

Вся Ваша профессиональная деятельность связана с Саратовским политехническим – ныне государственным университетом, получившим столь

высокий статус при Вашем непосредственном участии начиная с должности преподавателя и заканчивая ректором, пройдя все ступени карьерной лестницы. При этом на каждом этапе вы оставались ученым, научным руководителем и консультантом нового поколения научных кадров, став академиком Российской академии архитектуры и строительных наук, Заслуженным деятелем науки Российской Федерации.

Успехов во всем и творческого долголетия!



УВАЖАЕМЫЙ ВЛАДИЛЕН ВАСИЛЬЕВИЧ!

СЕРДЕЧНО ПОЗДРАВЛЯЕМ ВАС со СЛАВНЫМ ЮБИЛЕЕМ !

**ВЫ ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ, ВНЕСШИЙ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД
В РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ, ОСНОВАТЕЛЬ ИНСТИТУТА РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА
и СТРАТЕГИЙ СГТУ им. Ю.А. Гагарина!**

**ЖЕЛАЕМ ВАМ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, НЕУВЯДАЕМОГО ОПТИМИЗМА, АКТИВНОГО ДОЛГОЛЕТИЯ,
СЕМЕЙНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ, НОВЫХ ТВОРЧЕСКИХ СВЕРШЕНИЙ,
УСПЕХОВ И ПОБЕД !**

*С искренним уважением, представители
Сибирской строительной науки*

*д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор*

**В.Ф.ХРИТАНКОВ
А.С.ДЕНИСОВ
А.П.ПИЧУГИН**

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

г. Новосибирск
13.03.2025 г.



ВОСПОМИНАНИЯ О ДЕТСТВЕ

Поэма

Будто в детство вернулся опять –
Память вновь оживила преданье,
Шанс, давая опять мне понять,
Сладок как тот урок воспоминанья...
 Как немymi картинками в ряд
 Проплывают мои годы детства
 И как в тамошний давний наряд
 Одевались все мы с малолетства...
Как всё красили, чтоб обновить
Цвет давно полинявших всех тканей;
Как могли распороть, перешить...
Сколько было при этом стараний!
 А обновки – так это в мечтах!
 Их, пожалуй, вовек не дождёшься...
 И ходили в чужих пиджаках,
 И смеялись от этой одежки...
Говорила бабуся тогда:
«Эт-тебе, мил, на вырост, конечно,
Подрастёшь, отпущу рукава;
Ну, и станет пиджак безупречно»...

 А ещё нашивала трусы
 Из сатина иль старого ситца,
 Не стеснясь сатинной красоты,
 Мы гуляли с улыбкой на лицах...
А питались мы скромно притом
И в меню в основном лишь картошка -
Каждым утром и пасмурным днём,
И съедалась вся мигом до крошки...
 А картофель в «мундире» хорош
 И поджаренный вкусно на сале,
 И пюре-размазня то ж, пригож,
 А с укропчиком! Лучше едва ли!...
А ещё в обиходе была
Та капуста, что сами растили,
И в салаты крошили всегда,
И, конечно же, в бочках солили!
 Овощей было много тогда:
 Огурцы и морковь, и томаты,
 И свекла самой главной слыла
 В винегретных красивых салатах...

Хлеб для нас в дефиците бывал
И за ним с вечеров занимали
Ну, а очередь длинной была -
Утром рано весь хлеб продавали...
 От буханок больших килограмм -
 Ровно каждому так нарезали;
 Но, когда уж довесок бывал -
 Рады были – до дому съедали...

А ещё был в ходу дикорос:
Травы, семечки, зёрна, орехи;
И грибы, что из леса принёс,
И коренья, что не для потехи...
 Каждый радио только знал -
 Всё «Тарелка» вещала о свете;
 Газетёнку дедуля читал...
 Так из СМИ знали мы о планете.
По зиме мы на санках неслись
С гор, что снегом глубоким покрыты,
Иль на лыжах пытались ходить
И с трамплинов парили открытых...
 Эти детские игры зимой!
 До сих пор память всё сохраняет
 И любой всесезонной порой
 Душу взрослую мне согревает.
А ещё были летние дни,
Когда все мы купаться ходили;
И заплывы, нырки, кувырки
Каждодневно на речке вершили...
 Были речки вокруг городка
 И хватало всем детям «купалок»;
 Мы ж стремились улучшить тогда
 Свой заплыв и нырок в тех запалах...
Босиком мы гоняли в футбол;
Часто пятки свои разрезали...
Но тех ссадин различных набор
Украшеньем был вместо медали...
 Мы ходили почаще пешком;
 Мылись только в общественных банях;
 Всё радели о доме своём,
 Не горюя о дальних тех странах...
На рыбалку мы дружно плелись
Всей дворовой гурьбой спозаранку...
И весёлые песни лились,
Коль «бычков» наловили вязанку...
 А для фото – «Любитель» простой!
 В темноте проявляли мы плёнки
 И печатали фото о той
 Жизни нашей счастливой и звонкой!
На соседских девчонок всегда
Мы глядели с большим восхищеньем,
Потому что они иногда
Были как бы в воздушном пареньи...
 А ещё на каникулах все
 Разъезжались в деревни иль в лагерь;
 Отдохнуть не в градской суете,
 А окрепнуть и тон не ослабить!
Там был свой замечательный круг
Из друзей или новых знакомых;



Хорошо был отлажен досуг,
И всё радостным было и ровным...
Отдохнув, загорев, полны сил,
Возвращались в родные квартиры...
И опять городок был нам мил -
Всё готовы творить мы игриво!
А затем принимал школьный дом –
Одноклассников милые лица;
И стремились мы дружно потом
Изучать книг святые страницы.
И вкушать безусловный прогресс,
И ловить мысли всех педагогов...
Не стараться скатиться в регресс,
А познать всё с желанием строгим!
А ещё мы хотели развить
Массу навыков важных и нужных;
И стремились в себе пробудить
Чувства творчества, поиска, дружбы!
То модели воздушных змеёв;
То бумажный летающий планер;
То транзистор, который без слов
Выдавал что-то, точно, как сканер...
То ваяли простой самокат –
На подшипниках старых и сложных;
«Дымовуху» пускали в «подкат»,
Обратив в крик старушек всебожных...
И играли мы часто в лапту,
В «зоску», «биту», а также «в пристенок» -
Всё старались постичь высоту
В этих играх копейечно-смелых...
И «бычки» собирали везде,
А потом уж за дальним сараем,
Втихаря, как в укромном гнезде,
Самокрутки курили, играя...
А ещё обязательный хор
Был для всех основным атрибутом
И мы пели... Порою на спор...
Чаще ж слаженной певческой труппой...
Музыкальная школа была
И учили нас в творческих классах...
В перспективе всех слава ждала,
Потому-то старались мы страстно...
А ещё протопить надо печь,
Покормить всех домашних животных –
Их порой было просто не счесть:
Куры, утки и козы, что кротки...

И, конечно, уроки, что нам
Задавали в домашних работах,
И поделки, которые сам
И придумал, и сделал в заботах...
Удивлялись ещё мы всему:
Снегу, солнцу, теплу или тучам,
Восхищал нас мороз, потому,
Что щипал нам носы, словно в буче...
И читали мы книги в запой,
Зачитав их порою до дырок;
Не прельщал нас мирской лишь покой –
Всё рвались мы куда-то с порывом!...
А ещё мы ходили в кино
И оно было нам позитивом –
Мы стремились позировать то,
Что узрели на кадрах ретивых!
То играли мы в рыцарский стан,
То взбирались на деревья игриво
И кричали, как в джунглях Тарзан,
И костры жгли, потёрши огниво...
И, конечно, про «возраст любви»
Познавали из фильмов французских
И о дружбе клялись на крови,
Срезав палец свой бритовкой узкой...
Подрастая, мечтали тогда
Повстречаться с хорошей девчонкой
И любовь пронести сквозь года,
Свой очаг, огласив песней звонкой!
И детей народить, сколь Бог даст,
Довести их до нужных пределов,
Воспитать, как учили всех нас,
Чтоб смотреть в жизни честно и смело!...
Мы считали, что много уметь,
В жизни надо, вершин чтоб добиться;
И сумеешь тогда преуспеть;
Чтоб уметь – надо лучше учиться!...
Кое-что в жизни нашей сбылось
Хоть она пробежала так быстро;
Целей многих достиг, коль смоглось, -
Был в желаниях видно неистов...
Подводя все итоги, вполне,
Я отметить хочу, сей былиной, -
Что, по совести, жил на земле
И доволен своей жизнью длинной...

**Анатолий
Петрович Пичугин**
д.т.н., профессор



ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»

**Дальневосточный научно-исследовательский,
проектно-конструкторский и технологический
институт по строительству**



г. Владивосток – 2025г.



Уважаемый Владилен Васильевич!

Коллектив института ДальНИИС от всей души, сердечно поздравляет Вас с **ЮБИЛЕЕМ – 90-летием со дня рождения - возрастом мудрости и богатого познания!**

Мы знаем Вас, как создателя уникальной и широко известной в России и за рубежом научной школы, успешно решающей проблемы расчета сложных инженерных сооружений с учетом нелинейных факторов и воздействия экстремальных условий эксплуатации.

Ваше трудолюбие, самоотдача и высочайший профессионализм являются ярким примером верности своему призванию.

Желаем Вам крепкого здоровья, бодрости духа, удачи, новых творческих свершений и успехов!

Оставайтесь всегда таким же полным сил, творческой энергии, стремления жить и работать на благо науки!

**Пусть каждый день оставляет тепло на душе и будет счастливым.
Пусть забота близких и родных людей окрыляет и дарит новые силы и эмоции!**

С глубоким уважением и признанием,

Коллектив филиала ДальНИИС



Уважаемый Владилен Васильевич!

В день Вашего юбилея примите самые искренние и сердечные поздравления!

Ваша жизнь – пример настоящего служения науке и ответственного подхода к каждой исследовательской, организаторской и педагогической задаче.

Мудрость, огромный жизненный опыт, высочайший профессионализм, желание всегда достигать поставленных целей и двигаться вперед, к новым вершинам, трудолюбие и самоотдача снискали Вам заслуженный авторитет, признание и уважение коллег и учеников.

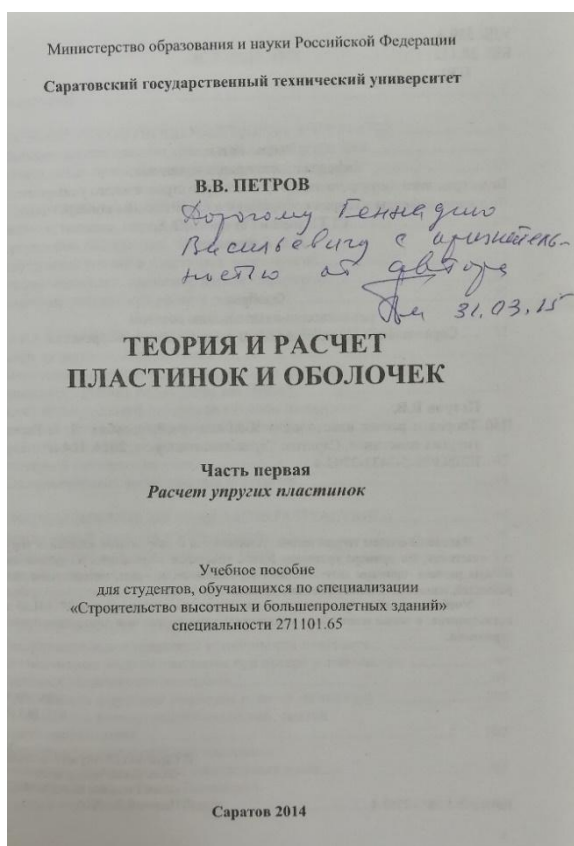
Будучи высококлассным специалистом в области изучения нелинейной механики и теории наведённой неоднородности, Вы вносите большой вклад в развитие отечественной науки.

Вы многое сделали для развития образования и науки в нашей стране, вырастили замечательных молодых специалистов, дали дорогу в жизнь многим и многим студентам и ученым.

Владилен Васильевич, желаем Вам, счастья, здоровья, долгих лет жизни, бодрости духа, прекрасного настроения, реализации всех намеченных планов и идей, а также благополучия и процветания Вам и всем Вашим родным и близким!

*Декан факультета
«Управление территориями»
Пензенского государственного университета
архитектуры и строительства*

Тараканов О.В.



Искренне и с большим удовольствием поздравляю Вас, уважаемый Владилен Васильевич с Юбилеем!

К своему поздравлению хотел бы добавить слова благодарности, которые часто звучали в доме моих родителей. Научная деятельность отца, была тесно связана с именем юбиляра. Именно по приглашению Владилена Васильевича он преподавал в Саратовском техническом университете, и это был единственный ВУЗ, кроме родного КУИСИ, где отец работал.

Каждый раз, появляется трепет в душе, когда открываю книги Владилена Васильевича с дарственной надписью отцу. Мне и самому повезло участвовать в научном семинаре на кафедре у Владилена Васильевича, где меня встретила радушная дружественная атмосфера.

Желаю дорогому Владилену Васильевичу крепкого здоровья, неумной энергии и новых реализаций научных достижений!

С уважением, Василий Мурашкин



Тамбовский государственный технический университет

Будущее начинается сегодня!





Уважаемый Владилен Васильевич!

От лица коллектива Тамбовского государственного технического университета примите искренние и сердечные поздравления с юбилеем!

За многие годы активной и плодотворной работы Вы внесли значительную лепту в развитие академической науки и образовательного потенциала ведущих отраслей экономики.

Ваше умение доводить результаты фундаментальных исследований до практического применения, научное предвидение и талант организатора снискали большое уважение и желание сотрудничества с Вами.

Свойственное Вам органичное сочетание руководящей, научной и педагогической деятельности является образцом напряженного плодотворного труда на благо родного университета, региона и страны.

Всю свою жизнь Вы посвящаете призванию, требующему от человека всех его сил и способностей без остатка! Вы сочетаете в себе молодость души и мудрость слова, ежедневный нелегкий труд и радостные победные достижения Ваших учеников.

Высокие государственные награды, научные звания, искреннее уважение и признание научного сообщества – заслуженные свидетельства Вашего таланта ученого и педагога!

Широкая сфера научных интересов, многочисленные публикации в авторитетных изданиях, блестяще подготовленные Вами последователи выдвинули Вас в число одного из самых видных ученых.

Желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, удачи и успехов в благородных делах и начинаниях, неиссякаемой энергии и яркого творчества!

С уважением,
ректор ТГТУ

М.Н. Краснянский

директор института
архитектуры, строительства и
транспорта ТГТУ

П.В. Монастырев

⇒В



ФЕАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

К 90-ЛЕТИЮ ВЛАДИЛЕНА ВАСИЛЬЕВИЧА ПЕТРОВА

Доктора технических наук, профессора, академика Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, Почётного строителя РФ, основателя и почётного профессора Института развития бизнеса и стратегий Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (ИРБИС СГТУ).

Многоуважаемый Владилен Васильевич!

Сердечно поздравляем Вас с Вашим юбилеем!

Ваша научная деятельность и организационный талант достойны всяческих похвал и восхищения. Ваши научные интересы сформировались в Московском инженерно-строительном институте, на кафедре «Строительная механика» под руководством зав. кафедрой, Член-корреспондента АН СССР Василия Захаровича Власова. Тематика исследований определилась в аспирантуре и связана с разработкой вариационного метода В.З. Власова по сведению двумерных задач к одномерным системам обыкновенных дифференциальных уравнений.

Являясь достойным учеником своего Великого Учителя – В.З. Власова, после защиты кандидатской диссертации (1961) и распределения в СПИ (СГТУ, г. Саратов) – единственное место работы, Вы основали Саратовскую школу механиков, известную у нас в России и за ее пределами. Воспитали большое число учеников, многие из которых стали крупными учеными. Среди них В.А. Крысько, И.Г. Овчинников, В.В. Карпов, В.К. Иноземцев и др. (всего подготовлено 13 докторов и 65 кандидата наук).

Вы прошли путь от рядового преподавателя и зав. кафедрой «Строительная механика и теория упругости» (позже — кафедра «Механика деформируемого твёрдого тела») до проректора по научной работе (1976-1988) и ректора СТПУ (1988-1998). Вами основана Высшая школа бизнеса в СГТУ, которая трансформировалась в Институт развития бизнеса и стратегий Саратовского государственного технического университета (ИРБИС СГТУ).

Ваш яркий научный стиль – образец для подражания. Его характеризуют творческое начало и оригинальность идей, высокий научно-теоретический уровень и ясное лаконичное изложение, инженерная интуиция и практическая направленность Ваших работ. В анализе тонкостенных пространственных систем Вам удалось создать уникальные расчетные схемы такие, как методы последовательных нагружений и вариационных итераций.

На их основе предложены различные модификации решения сложных двумерных задач с учетом физической и геометрической нелинейности. Ваша монография «Нелинейная инкрементальная строительная механика» – блестящий пример научной и инженерной мысли, бесценное пособие для многих специалистов. Предложенные Вами методы уже давно стали общим достоянием ученого мира и широко используются при решении нелинейных задач строительной механики.

Вы активно разрабатываете новые направления исследований, среди которых вопросы взаимодействия элементов конструкций с агрессивной коррозионной средой и др. Благодаря Вашей неустанной деятельности и деятельности Ваших учеников, Саратовская школа механиков находится на передовых позициях и хорошо известна в научном мире.

Желаем Вам долгих лет жизни, крепкого здоровья, личного благополучия, больших творческих успехов в научно-исследовательской и педагогической деятельности!

Процветания Вам и Вашим ученикам!

Член-корреспондент РААСН
Советники РААСН

А.Н. Потанов
А.Х. Байбурун
В.Д. Оленьков



*«Дорогие друзья,
поздравившие меня с 90-летним юбилеем!
Благодарю Вас за искренние пожелания!
Сравнивая первую фотографию и последнюю видно,
что я начал молодеть от ваших теплых слов:
догоняйте меня! Удачи Вам!»*



CONGRATULATIONS ON THE 90TH ANNIVERSARY
OF RAACS ACADEMICIAN PETROV V.V.

*Dear Vladylen Vasilyevich!
Your friends, colleagues and students
sincerely congratulate you on the anniversary,
wish you good health, well-being and creative longevity!*

Petrov Vladylen Vasilyevich was born on March 13, 1935, in the family of rural teachers. After graduating from high school №1 of Alexandrov city in the Vladimir region, he entered the Moscow Institute of Civil Engineering named after V.V. Kuybyshev (MISI). After graduating from the institute in 1957, V. Petrov was recommended for further study in graduate school, where he was offered to try the hand at the then little-known non-linear mechanics of thin-walled spatial structures.

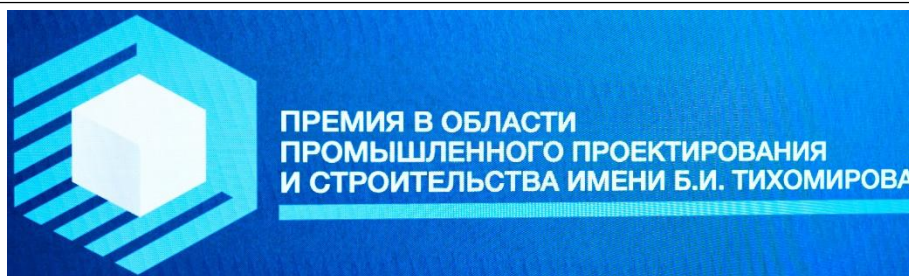
After the graduation, V.V. Petrov was sent by the Ministry of Education to work as an assistant at the Saratov Automobile and Road Institute, which was later transformed into the Saratov Polytechnic Institute. In this university he worked as an assistant, associate professor and since 1970 the head of the department. V.V. Petrov worked as a prorector for twelve years, starting in 1977. In 1988, the institute's board elected V.V. Petrov as the rector of the Saratov Polytechnic Institute.

The Saratov Polytechnic Institute received the status of Saratov State Technical University in 1992 due to the initiative of V.V. Petrov. In 1998, V.V. Petrov resigned from the post of rector on his personal application, and continues to work as the head of the department "Mechanics of deformable solid body".

V.V. Petrov defended his candidate thesis "**Some questions on calculation of soft membranes at final sags**" in Moscow Aviation Institute named after Sergo Ordzhonikidze. In 1970, V.V. Petrov presented to the scientific council of MISI named after V.V. Kuybyshev doctoral thesis "**Method of consecutive loading in the non-linear theory of plates and membranes**" and successfully defended it.

In 1992, V.V. Petrov was chosen a full member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) by the electors of the academy's original group.

He has been the chairman of the editorial board of the online scientific and practical publication "Expert: Theory and practice" since 2019.



**ПОЗДРАВЛЯЕМ С.М. АНПИЛОВА
ЛАУРЕАТА III ПРЕМИИ ИМЕНИ Б.И. ТИХОМИРОВА**

Госкорпорация Ростех объявила лауреатов III премии имени Бориса Тихомирова. Награждение победителей прошло 26.12.2024 года в Москве на площадке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Организаторами премии выступили холдинг «Технодинамика» совместно с Союзом машиностроителей России при поддержке Минстроя России, Правительства Татарстана и Госкорпорации Ростех.



В торжественной церемонии вручения наград лауреатам премии им. Б. И. Тихомирова принял участие Раис Татарстана Рустам Нургалиевич Минниханов, заместитель министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства России Сергей Григорьевич Музыченко, индустриальный директор комплекса обычных вооружений, боеприпасов и спецтехники Госкорпорации Ростех Оздоев Бекхан Ибрагимович.

Премия присуждена за работы, вносящие значительный вклад в развитие проектирования и строительства промышленных объектов и внедрение передовых инженерных, проектных, технических и технологических решений.

Главная цель – мотивировать работников отрасли создавать новые концепции, развивать кадровый потенциал строительной отрасли. Среди соискателей как отдельные авторы, так и коллективы.

В 2024 году экспертный совет рассмотрел 82 заявки на премию из организаций и учебных заведений по всей России [1].

Во вступительном слове Рустам Минниханов отметил, что «Борис Иванович Тихомиров – это личность, которая известна не только в масштабах нашей республики. Он многое сделал для промыш-

ленности Советского Союза, Российской Федерации, для оборонно-промышленного комплекса. Хочу поблагодарить компанию «Технодинамика (учредитель премии)».

«Есть такая форма поощрения – премия имени Тихомирова, которую мы вручаем уже в третий раз. Считаю, это положительный пример, чтобы показать, что Ваша работа очень важна», – сказал Рустам Нургалиевич, обращаясь к номинантам.

«Такого уровня проектных институтов, которые могут работать для промышленного строительства, – их не так много. Сегодня как никогда важны специалисты, с учетом новых вызовов, которые стоят перед страной, и особенно – в оборонно-промышленном комплексе», – сказал Рустам Минниханов. Он поздравил лауреатов премии имени Бориса Тихомирова [2].

По итогам конкурсного отбора в номинации «За многолетний труд и преданность профессии» награждены заслуженные ветераны. За работы, вносящие значительный вклад в развитие проектирования и строительства промышленных объектов, внедрение инновационных, передовых инженерных, проектных, технических и технологических решений и принимавшие непосредственное участие в разработке большой номенклатуры про-



ектов самого разного назначения. В 2024 году отмечены заслуги представителей: АО «ГИПРОНИАВИАПРОМ», АО «ИПРОМАШПРОМ», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет СИБСТРИН» [3].

В номинации «За многолетний труд и верность профессии» награжден Дипломом 1 степени, премией 500 000 рублей профессор кафедры желе-

зобетонных конструкций НГАСУ (Сибстрин), доктор технических наук, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель РФ, советник РААСН Сергей Михайлович Анпилов – известный в нашей стране крупный ученый–практик, новатор.

Внедрение результатов собственных научных исследований Лауреата – комплексный подход к созданию новых конструктивных систем и высокая ре-



Лауреат III премии имени Б.И. Тихомирова – С.М. Анпилов



ДИПЛОМ

ЗОЛОТОЙ ФОНД СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ I СТЕПЕНИ

Анпилов Сергей Михайлович

Индивидуальный предприниматель

Самарская область

XXVIII Всероссийский конкурс
на лучшую строительную организацию,
предприятие строительных материалов и стройиндустрии за 2023 год



Президент
Российского Союза строителей

Яковлев В.А.



МИНСТРОЙ
РОССИИ

Первый заместитель
Министра строительства и ЖКХ
Российской Федерации

Ломакин А.Н.

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

Заместитель
Министра промышленности и торговли
Российской Федерации

Юрин М.Н.



Председатель
Профсоюза работников строительства
и промышленности строительных материалов
Российской Федерации

Сошенко Б.А.

август, 2024



ДИПЛОМ

ЛУЧШИЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ/ПРЕДПРИЯТИЯ

**АНПИЛОВ
СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

Индивидуальный предприниматель Анпилов Сергей Михайлович

Самарская область



Президент
Российского Союза строителей

Яковлев В.А.



МИНСТРОЙ
РОССИИ

Первый заместитель
Министра строительства и ЖКХ
Российской Федерации

Ломакин А.Н.

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

Заместитель
Министра промышленности и торговли
Российской Федерации

Юрин М.Н.



Председатель
Профсоюза работников строительства
и промышленности строительных материалов
Российской Федерации

Сошенко Б.А.

август, 2024



Справка:

Борис Иванович Тихомиров (08.05.1946 - 11.07.2020) - выдающийся советский и российский проектировщик, удостоенный званий заслуженного машиностроителя ТАССР, заслуженного строителя Республики Татарстан и России, лауреат Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники, почетный авиастроитель. Награжден почетными грамотами Госстроя России, Министерства авиационной промышленности РФ, Министерства промышленности и энергетики РФ, Министерства строительства и ЖКХ РФ, орденом «За заслуги перед Отечеством» второй степени, орденом «Ломоносова» и др. В 1970 году Б.И. Тихомиров пришел в «Казанский ГипроНИИАвиапром» в качестве инженера, в 1988 году возглавил институт, проработав в должности директора более 30 лет.

Госкорпорация Ростех – крупнейшая машиностроительная компания России. Объединяет свыше 800 научных и производственных организаций в 60 регионах страны. Компания выступает ключевым поставщиком вооружений, военной и специальной техники в рамках гособоронзаказа. Развивает высокотехнологичные гражданские производства в стратегически важных для страны, таких как авиастроение, двигателестроение, транспортное и энергетическое машиностроение, медицинское приборостроение, фармацевтика, новые материалы и др. В портфель корпорации входят такие известные бренды, как КАМАЗ, ОАК, «Вертолеты России», ОДК, Уралвагонзавод, «Швабе», Концерн «Калашников», КРЭТ, «Высокоточные комплексы», «Рособоронэкспорт», «Росэлектроника», «Нацимбио» и др. Консолидированная выручка в 2023 году превысила 2,8 трлн рублей.

зультативность решения современных актуальных проблем строительной отрасли – которые обеспечили строительной отрасли активное использование быстровозводимых, инновационных, импортозамещающих конструктивных систем на основе ЛСТК (легкие строительные тонкостенные металлические конструкции) на более чем ста объектах различного назначения, во многих регионах Российской Федерации (в том числе за 2024 год, при непосредственном участии Лауреата разработана большая номенклатура проектов самого различного назначения для объектов: 18 – в Луганской народной республике, 4 – в Запорожской области, 2 – в Волгоградской области, 2 – в Уфе, 24 – в Чите).

Кроме того, результаты инновационной деятельности Анпилова С.М. признаны профессиональным сообществом. На ежегодном Всероссийском конкурсе на лучшую проектную, изыскательскую, строительную организацию ИП Анпилов С.М. был награжден Минстроем России в августе 2024 года

Дипломом 1 степени «Золотой Фонд строительной отрасли», Дипломом «Лучший руководитель» [4].

Уважаемый Сергей Михайлович!

Редакция АНО «ИССТЭ» поздравляет Вас – члена редакционной коллегии сетевого научно-практического издания «Эксперт: Теория и практика», Заслуженного изобретателя РФ, Почетного строителя РФ, советника РААСН, д.т.н., профессора кафедры ЖБК НГАСУ (Сибстрин) с высоким признанием Вашего научного вклада импортозамещающими конструктивными строительными системами из ЛСТК в инновационное и технологическое развитие строительной отрасли России. Желаем Вам крепкого здоровья, научного долголетия, успехов в трудовой деятельности и благодарных учеников.

Главный редактор
Мурашкин В.Г.

Библиографический список

1. Сайт, Официальный Татарстан [Электронный ресурс] URL: <https://tatarstan.ru/index.htm/news/2373547.htm>, свободный, дата обращения: 22.02.2025.
2. Сайт, Минстрой России [Электронный ресурс] URL: <https://t.me/minstroyrf/16806>, свободный, дата обращения: 22.02.2025.
3. Сайт, Госкорпорации Ростех [Электронный ресурс] URL: <https://rostec.ru/upload/iblock/481/gjre4fkkdpgrtc3zme4ww1yuhu35ag0l.pdf>, свободный, дата обращения: 22.02.2025.
4. Сайт, НГАСУ (Сибстрин) [Электронный ресурс] URL: <https://www.sibstrin.ru/news/miscellaneous/10121/>, свободный, дата обращения: 22.02.2025.



**CONGRATULATIONS TO S.M. ANPILOV
LAUREATE OF THE III AWARD NAMED AFTER B.I. TIKHOMIROV**

Dear Sergei Mikhailovich!

The INO “IFCTE” team congratulates you — member of the editorial board of the online scientific and practical publication “Expert: Theory and practice”, Honored inventor of the Russian Federation, Honorary Builder of the Russian Federation, adviser of RAACS, PhD, professor of the Reinforced concrete structures department in Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) — with high recognition of your scientific contribution to the innovative and technological development of the construction industry in Russia by importing constructional building systems from LSTC. We wish you good health, scientific longevity, success in work and grateful students.

*Editor-in-chief
Murashkin V.G.*



ПОЗДРАВЛЯЕМ СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА ЛЕОНОВИЧА,
члена редакционной коллегии сетевого научно-практического издания ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА,
ИНОСТРАННОГО ЧЛЕНА (АКАДЕМИКА) РААСН,
с присуждением Почетного звания «ПОЧЕТНЫЙ ДОКТОР ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова»

CONGRATULATIONS TO SERGEI NIKOLAEVICH LEONOVICH
WITH HONORARY TITLE "HONORARY DOCTOR OF THE KALASHNIKOV IZHEVSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY"



В преддверии 73-й годовщины образования Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова (далее ИжГТУ) 21 февраля 2025 года состоялось торжественное заседание Ученого совета которое было посвящено вручению почетных званий университета: «Почетный профессор ИжГТУ», «Почетный доктор ИжГТУ», «Почетный выпускник ИжГТУ» и «Человек года ИжГТУ».

После исполнения гимнов Российской Федерации, Удмуртской Республики и ИжГТУ имени М.Т.

Калашникова открыл заседание Ученого совета и.о. ректора технического университета Александр Викторович Губерт:

«Дорогие ветераны, преподаватели, сотрудники и студенты!

Завтра нашему университету исполняется 73 года. Для вуза это средний крепкий возраст: сформированы научные школы, определены образовательные программы, по которым мы ведем обучение. Надо сказать, что, несмотря на все сложно-



Персоналии

сти, университет развивается и улучшает свои показатели. Год от года растет средний балл при поступлении на 1 курс. Наши студенты завоевывают призовые места на Всероссийских конкурсах и олимпиадах. Преподаватели защищают диссертации, выполняют НИР и ОКР, объем средств на которые увеличивается год от года. Тем не менее, перед нами стоят еще более сложные задачи. Я надеюсь, что совместными усилиями мы все эти задачи выполним».

Церемонию вручения почетных званий и регалий провели ученый секретарь Ученого совета Эдуард Геннадьевич Крылов и проректор по научной и инновационной деятельности ИжГТУ Андрей Николаевич Копысов.



Почетное звание «Почетный доктор Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова» присуждено члену редакционной коллегии сетевого научно-практического издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА», иностранному члену (академику) РААСН, заведующему кафедрой «Строительные материалы и технология

строительства» Белорусского национального технического университета (далее БНТУ) Сергею Николаевичу Леоновичу [1].

У и.о. ректора А.В. Губерта, в рамках празднования дня рождения технического университета, состоялся прием д.т.н., заведующего кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» БНТУ С.Н. Леоновича. На ректорском приеме присутствовали проректор по учебной работе О.И. Варфоломеева, проректор по научной и инновационной деятельности А.Н. Копысов, проректор по молодежной политике Д.В. Мельниченко, декан факультета строительства, архитектуры и дизайна имени В.А. Шумилова Г.Н. Первушин и профессор кафедры «ПГС» В.П. Грахов.

Открывая встречу, Александр Викторович отметил, что у ИжГТУ сложились крепкие отношения с БНТУ в сфере науки, и в сфере образования. Кроме того, эти два университета связывает международный легкоатлетический пробег, посвященный Победе в Великой Отечественной войне. В этом году у нас совместный праздник – 80-летие Великой Победы! Александр Викторович говорил о важности расширения сотрудничества и в других направлениях:

«Нас радует, что связи с БНТУ особенно активные и плодотворные у факультета строительства, архитектуры и дизайна. Но я уверен, что у нас есть и другие точки соприкосновения. Думаю, мы должны активно работать по обмену с публикациями (в обоих университетах есть научные журналы), и все это пойдет только на пользу.

Еще хотелось бы отметить образовательный аспект. У нас уже был опыт обучения ваших студентов в ИжГТУ по ракетостроению. Мы готовы идти и на другие программы по студенческому обмену. Может быть, не стоит откладывать далеко – и обменяться преподавателями: наш преподаватель в рамках командировки чи-





тает лекции у вас, ваш преподаватель – у нас. Надо посмотреть учебные планы и прикинуть, какие курсы более-менее совпадают. Если это возможно – давайте обсудим в рабочем порядке эти вопросы, и, если получится – сделаем это доброй традицией, продолжая и в следующие годы. А дальше можно подумать и о совместных образовательных программах. По крайней мере, это можно и нужно обсуждать».

В свою очередь С.Н. Леонович рассказал о взаимодействии БНТУ с зарубежными университетами, в частности, об удачном старте с Венским техническим университетом:

– В связи с тем, что Запад отпал, у нас появились другие партнеры. На самом деле у нас есть уже достаточно разнообразный опыт. Что касается науки, то за последнее время наука дала рост всей экономике. И, самое главное, что хочу отметить, мы остались друзьями – Россия и Беларусь! Когда я уезжал к вам, ректор БНТУ Сергей Васильевич Харитончик дал мне напутствие, чтобы приглашал Вас на все наши мероприятия. У нас есть желание запустить какой-нибудь семинар, который будет проходить поочередно, один год у нас, другой – у вас. Я знаю, что к этому проекту присоединится и Дальний Восток, и другие вузы, с которыми мы работаем. На самом деле есть интересные формы сотрудничества. Не надо бояться, надо работать!» [2].

Для студентов факультета строительства, архитектуры и дизайна имени В.А. Шумилова **Сергей Николаевич Леонович** провел открытый урок.

Перед началом занятий Сергей Николаевич выразил слова благодарности руководству университета за предоставленную возможность пообщаться с аудиторией студентов ИжГТУ.

Затем коротко рассказал о структуре строительного факультета БНТУ, в составе которого функционируют 5 кафедр:

- Геотехника и строительная механика;
- Инженерная графика строительного профиля;



- Строительные конструкции;
- Строительные материалы и технология строительства;
- Экономика, организация строительства и управление недвижимостью.

Затем, лектор сосредоточился на основных направлениях исследований и научных достижениях возглавляемой им кафедры. По его словам, работа ведется с использованием современной вычислительной техники и оборудования, научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов, научно-исследовательской лаборатории промышленного и гражданского строительства, а также учебных лабораторий и классов:

– «Технический университет без научно-исследовательских лабораторий – это всё равно, что медицинский институт без госпиталя. Имеющийся набор оборудования и специалистов позволяет нам плодотворно сотрудничать с ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, Венским техническим университетом, Дальневосточным федеральным университетом, Технологическим университетом Циньдао (КНР), Бангльорским университетом (Индия) и другими авторитетными организациями».

Сергей Николаевич дал несколько практических советов будущим строителям – нынешним студентам ИжГТУ:

– «Во время учебы старайтесь овладеть дефицитными специализациями, например, сметчика – это позволит Вам быть конкурентными на рынке труда. По-настоящему изучайте английский язык – это язык строительной терминологии, нормативных документов и международного общения. Лично мне он даёт возможность на равных общаться с коллегами из Австрии, Индии, Китая и других стран. Наконец, обязательно патентуйте все свои изобретения (а существуют различные формы патентования), поскольку всегда будет очень много желающих отнять ваши достижения и использовать их даром!»



Справка:

Леонович Сергей Николаевич, известный ученый в области исследования строительных материалов и конструкций, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», главный научный сотрудник Центра научных исследований и испытаний строительных конструкций Белорусского национального технического университета (БНТУ). С 2008 года избран академиком (иностранным членом) государственной Российской академии архитектуры и строительных наук. Лауреат Персональной Надбавки Президента РБ «За выдающийся вклад в социально-экономическое развитие Республики», Лауреат Гранта Президента РБ в области науки.

Сергей Николаевич участвует в работе и входит в руководство: Научно-технического совета Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, Международной ассоциации испытательных институтов и лабораторий (RILEM), Федерации конструкционного бетона (FIB), Европейской ассоциации строительных факультетов (EACEF), является членом двух докторских советов по защите диссертаций.

Леонович С.Н. – руководитель научной школы в области исследования строительных материалов и конструкций, строительства и реконструкции зданий и сооружений, обеспечения их расчетного срока службы, прочности, трещиностойкости и долговечности конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях. Автор 34 монографий, 47 учебных пособий, 31 патента и более 750 научных статей. Подготовил 7 кандидатов технических наук, является членом редакционной коллегии сетевого научно-практического издания «Эксперт: Теория и практика».

Сергей Николаевич активно участвует в реализации проектов международного сотрудничества Республики Беларусь с Российской Федерацией, Китаем, Ираком, Йеменом, Канадой, Австрией, Чехией, Словакией, Польшей. Проводит совместные научные исследования с учеными Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова, Дальневосточного Федерального университета, Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

С.Н. Леонович подробно рассказал о международном сотрудничестве учёных Строительного факультета БНТУ, в частности, об участии в сооружении атомных электростанций, а также в развитии инфраструктуры такого значимого объекта как «Сахалин-2». А ещё он высказал мысль о необходимости укрепления двусторонних связей между БНТУ и ИЖГТУ:

– «Нам нужно проводить больше совместных мероприятий с участием учёных и студентов наших технических университетов. И подумать об организации взаимного обмена студентами» [3].

Уважаемый Сергей Николаевич!

Редакция АНО «ИССТЭ» поздравляет Вас – члена редакционной коллегии сетевого научно-практического издания «Эксперт: Теория и практика», д.т.н., профессора БНТУ, с присуждением Почетного звания «Почетный доктор Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова» с высоким признанием результатов Вашей научно-преподавательской деятельности. Желаем Вам крепкого здоровья, научного долголетия, успехов в трудовой деятельности и благодарных учеников.

Главный редактор
Мурашкин В.Г.

Библиографический список

1. Сайт Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. URL: <https://istu.ru/news/zhizn-universiteta/torzhestvennoe-zasedanie-uchenogo-soveta-izhgtu-1>.
2. Сайт Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. URL: <https://istu.ru/news/inter/na-rektorskom-prieme-v-izhgtu>.
3. Сайт Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. URL: <https://istu.ru/news/inter/lekciya-professora-bntu-sergeya-leonovicha-dlya-studentov-izhgtu>.

Научная статья
УДК 691.421.24:666.3
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_1_115

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ИЗ ПРОДУКТОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

© Авторы 2025
SPIN-код: 1041-9513

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

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

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

Аннотация. Для получения качественного кирпича необходимо использовать природное глинистое сырье с содержанием оксида алюминия не менее 20 % и плавни (для снижения температуры обжига керамического черепка), содержащие r_2O более 5 %. Однако большинство глин Российской Федерации не отвечают этим требованиям и являются малопластичными и неспекающимися. Низкое качество глинистого сырья предполагает необходимость развивать технологию полусухого прессования, использовать особые, зачастую энергозатратные, способы подготовки сырьевой смеси или модифицировать состав добавками направленного действия. В связи с этим возникает необходимость исследования возможности замещения глинистого сырья различными видами отходов. В то же время догматические документы Российской Федерации требуют нахождения рациональных путей использования отходов производств и продуктов техногенного происхождения в строительстве. Авторами показана возможность получения высококачественного керамического кирпича из продуктов техногенного происхождения (межсланцевой глины и золы гидроудаления). Полученный керамический кирпич обладает маркой по прочности М200 и по морозостойкости F50 и может быть использован для возведения несущих стен в качестве рядовых и лицевых изделий.

Ключевые слова: межсланцевая глина; зола гидроудаления; керамический кирпич; прочность при сжатии и при изгибе; морозостойкость; строительные материалы

Для цитирования: Анпилов С.М., Ильина Л.В. Оценка возможности получения керамического кирпича из продуктов техногенного происхождения // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 115-119. doi:10.51608/26867818_2025_1_115.

Original article

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING CERAMIC BRICK FROM TECHNOGENIC PRODUCTS

© The Author(s) 2025

ANPILOV Sergey Mikhailovich
Dr. of Technical, Prof. of the Department
Novosibirsk state University of architecture and civil engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@yandex.ru)

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



Abstract. To obtain high-quality bricks, it is necessary to use natural clay raw materials with an aluminum oxide content of at least 20% and fluxes (to reduce the firing temperature of the ceramic shard) containing more than 5% R₂O. However, most clays in the Russian Federation do not meet these requirements and are low-plastic and non-caking. The low quality of clay raw materials requires the development of semi-dry pressing technology, the use of special, often energy-intensive, methods for preparing the raw mix, or modification of the composition with additives of targeted action. In this regard, there is a need to study the possibility of replacing clay raw materials with various types of waste. At the same time, dogmatic documents of the Russian Federation require finding rational ways to use industrial waste and products of technogenic origin in construction. The authors showed the possibility of obtaining high-quality ceramic bricks from products of technogenic origin (intershale clay and hydraulic ash). The resulting ceramic brick has a strength grade of M200 and frost resistance of F50 and can be used for the construction of load-bearing walls as ordinary and facing products.

Keywords: intershale clay; hydraulic ash; ceramic brick; compressive and bending strength; frost resistance; building materials

For citation: Anpilov S.M., Ilyina L.V. Assessment of the possibility of obtaining ceramic brick from technogenic products // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 115-119. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_115.

Введение. С конца 2019 года в России существенно активизировалось частное малоэтажное домостроение, связанное с введением программы льготной ипотеки и поддержки строительного бизнеса в условиях пандемии. Основными стеновыми материалами для данного вида строительства является кирпич и камни керамические. Экономически эффективные строительные материалы необходимы для реализации государственных программ развития инфраструктуры РФ, программ жилищного строительства.

Несмотря на то, что большинство кирпичных заводов производят изделия по пластической технологии во многих регионах Российской Федерации отсутствуют высококачественные глинистые породы для производства кирпича пластического формования. Поэтому производителям керамического кирпича и камней зачастую для их изготовления приходится использовать малопластичное, неспекающееся глинистое сырье [1-4]. Низкокачественное глинистое сырье, как правило, содержит малое количество глинистых частиц и большое количество пылеватых частиц [4]. Это приводит к трещинообразованию при сушке сырца и большому количеству брака. При этом производители вынуждены переходить на полусухой способ прессования изделий или использовать особые, зачастую энергозатратные, способы подготовки сырьевой смеси позволяющие снизить чувствительность сырья к сушке [5].

Для получения качественного кирпича необходимо использовать природное глинистое сырье с содержанием оксида алюминия не менее 20 % и сырьевые материалы для снижения температуры обжига кирпича (плавней), содержащие R₂O более 5 % [5-9]. Однако большинство легкоплавких глин Российской Федерации классифицируются как полукислые и кислые, причем неспекающиеся, с низким содержанием оксида алюминия (не более 15 %) [10-12]. При таком содержании оксида алюминия в глинистых компонентах из них, без использования отощителей с повышенным содержанием оксида алюминия (не мене 20 %) или плавня с повышенным со-

держанием R₂O (более 5 %), невозможно получить кирпич с прочностью 125 и выше.

Важнейшей задачей при применении сырья с низким содержанием глинистых фракций является повышение прочности керамического черепка. Этот вопрос может быть решен введением тонкодисперсных добавок направленного действия [5-7]:

- плавней с повышенным содержанием RO и R₂O (например- диопсид, диабаз и др.);
- добавок силикатного состава (например – нефелин-сиенит, оконное стекло и др.);
- добавок (природных каменных материалов), имеющих волокнистое строение (например – волластонит) [8-11];
- наномодифицирующих добавок, содержащих оксиды кремния или алюминия [12-13].

Женжурист И.А. решала задачу упрочнения керамического черепка введением в сырьевую смесь отхода гальванического производства с высоким содержанием оксида алюминия [14]. По мнению авторского коллектива повысить прочность керамического черепка возможно введением отхода гальванического производства и подмыльного щелока, увеличивающего содержание стекломассы. В кристаллической фазе черепка обнаружены иглы муллита, армирующие композицию [15].

Выполненный литературный обзор позволяет сделать следующие выводы:

1. кирпич и камни керамические остаются основным стеновым материалом для жилищного строительства;
2. поскольку месторождения качественного глинистого сырья оказались за пределами РФ, производители керамического кирпича вынуждены ориентироваться на низкокачественные местные глинистые породы;
3. при использовании сырья с низким содержанием глинистых частиц возникают задачи снижения чувствительности сырца к сушке и повышения прочности керамического кирпича;



4. низкое качество глинистого сырья предполагает необходимость развивать технологию полусухого прессования или модифицировать состав добавками направленного действия.

Таким образом, литературный обзор показал необходимость исследования возможности замещения сырья различными видами отходов. В то же время догматические документы Российской Федерации требуют нахождения рациональных путей использования отходов производств и продуктов техногенного происхождения в строительстве. Положения Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2030 г. (утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.12.2011 № 2227-р (ред. от 18.10.2018)), Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года (утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 г. № 868-р) предполагают развитие строительного материаловедения с применением отходов промышленности. Таким образом, целесообразность утилизации отходов и продуктов техногенного происхождения при изготовлении искусственных композитов на основе низкокачественного глинистого сырья обусловлена как задачей повышения их качества, так и требованием утилизации многотоннажных отходов производства [16].

За счет использования промышленных отходов и продуктов техногенного происхождения возможно кардинально изменить параметры сырьевой базы России. Применение отходов в производстве стеновых керамических материалов позволит сократить количество используемого природного традиционного сырья и снизить экологическую напряженность [17-18]. При этом исключаются затраты на геологоразведочные работы, строительство и эксплуатацию карьеров, освобождаются значительные земельные участки от воздействия негативных антропогенных факторов. Вместе с тем из отходов в комбинации с природным сырьем или без него можно изготавливать практически все основные строительные материалы [17]. Изготовление стеновых керамических материалов отличается большой материалоемкостью, большим расходом топливных ресурсов. Поэтому применение в керамических материалах отходов производства приобретает особую актуальность [4; 6; 9; 17-18].

Цель работы заключается в исследовании возможности получения керамического кирпича с высокими эксплуатационными свойствами из продуктов техногенного происхождения без применения природного традиционного сырья.

Материалы и методы. В работе использовались следующие сырьевые компоненты: в качестве

глинистого компонента - межсланцевая глина, в качестве отощителя и плавня – зола легкой фракции.

Межсланцевая глина является отходом горючих сланцев, образующимся при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (шахтах). Межсланцевая глина является легкоплавкой, по числу пластичности относится к среднепластичному глинистому сырью (число пластичности 15 - 18) с истинной плотностью 2550-2620кг/м³. Минералогический состав межсланцевой глины, мас. %: кварц – 45, гидрослюда – 25, кальцит – 10, полевой шпат – 10, монтмориллонит – 5, доломит -3, органические примеси -2. Химический состав межсланцевой глины приведен в табл. 1, гранулометрический состав – в табл. 2.

Золу гидроудаления целесообразно использовать в качестве интенсификатора спекания для снижения температуры обжига. Минералогический состав золы, мас. %: стеклофаза - 67-70, кварц – 16-18, анортит – 7-9, муллит – 4-6. Содержание в золе гидроудаления большого количества Al₂O₃(21-22 %) и SiO₂ (58-59 %) может привести к кристаллизации муллита при обжиге керамического кирпича. Химический состав золы приведен в табл. 1, гранулометрический состав – в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав сырьевых компонентов

Наименование компонента	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п
Межсланцевая глина	45-47	13-14	5-6	11-13	2-3	3-4	9-20
Зола гидроудаления	58-59	21-22	5,0-5,5	5-7	1,0-1,5	8-9	0,5-1,0

Таблица 2. Гранулометрический состав сырьевых компонентов

Наименование компонента	Гранулометрический состав частиц (мкм), %				
	менее 1	1-5	5-10	10-63	более 63
Межсланцевая глина	62	14	12	7	53,5
Зола гидроудаления	3,5	12,4	30,4	35,3	18,4

Свойства глинистого сырья (межсланцевой глины) определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические. Общие требования».

Приготовление сырьевой смеси осуществлялось следующим образом: межсланцевую глину измельчали допрохождения через сито 1мм. Затем добавляли золу и смесь тщательно перемешивали. Кирпич-сырец получали пластическим способом при формовочной влажности 20-22 %. Далее его высушивали до остаточной влажности не более 5 % и обжигали в муфельной печи при температуре 1000-1100°С. Изотермическая выдержка при конечной температуре осуществлялась в течение 1 ч.



Свойства обожженного кирпича определяли согласно требованиям: прочность при сжатии – ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические. Общие требования», прочность при изгибе – ГОСТ Р 58527-2019 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе», морозостойкость – ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости».

Результаты и обсуждение. При проведении эксперимента количество межсланцевой глины составляло 60 – 100 %, количество золы – 0 – 40 %. Состав сырьевой смеси приведен в табл. 2.

Физико-механические свойства кирпича представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Физико-механические свойства кирпича

Состав сырьевой смеси		Прочность при сжатии, МПа, при температуре, °С			Прочность при изгибе, МПа, при температуре			Морозостойкость, циклы, при температуре		
межсланцевая глина	зола гидроудаления	1000	1050	1100	1000	1050	1100	1000	1050	1100
100	0	9,8	10,3	12,0	1,8	2,2	2,4	14	16	20
80	20	13,8	17,2	20,5	2,5	3,3	3,7	29	40	48
70	30	14,1	17,8	20,6	2,7	3,6	3,4	34	45	54
60	40	13,8	17,1	20,1	2,4	3,3	3,3	36	43	52

Анализ экспериментальных данных показал возможность получения керамического кирпича с прочностью при сжатии 9,8 – 20,6 МПа, прочностью при изгибе 1,8 – 3,7 МПа. Введение в составы керамических масс золы гидроудаления повышает марку кирпича до М125 даже при температуре 1000 °С.

Наибольшие прочностные показатели кирпича получены при его изготовлении из сырьевой смеси, состоящей из 70 мас % межсланцевой глины и 30 мас. % золы гидроудаления. Замена 30 % сырьевой смеси золой позволяет увеличить прочностные показатели до 72 %. Таким образом, из экспериментальных данных видно, что получить керамический кирпич марки по прочности 200 не возможно без применения золы гидроудаления, используемой в качестве плавня ($R_2O = 8-9\%$) и алюмосодержащего отощителя (21-22 % Al_2O_3). Дальнейшее увеличение в составах керамических масс золы гидроудаления требует повышения пластичности керамической массы, так как на керамических образцах появляются трещины.

Наибольшая морозостойкость кирпича (54 цикла) также соответствует составу межсланцевая глина: зола гидроудаления равному 70:30. Оптимальная температура обжига для получения кирпича высокого качества составляла 1100 °С.

Полученный керамический кирпич обладает маркой по прочности М200 и по морозостойкости

F50 и может быть использован для возведения несущих стен в качестве рядовых и лицевых изделий.

Заключение. Таким образом, можно констатировать возможность получения керамического кирпича с высокими эксплуатационными свойствами (М200 и F50) из продуктов техногенного происхождения без применения природного традиционного сырья.

Библиографический список

1. Обзорная статья по обзору российского рынка // Система межрегиональных маркетинговых центров. URL: <http://www.marketcenter.ru/content/doc-2-12692.html>.
2. Семенов А.А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 4-5. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-787-12-4-5
3. Игами М. Библиометрические индикаторы: исследования в области нанонауки // Форсайт. 2008. № 2 (6). С. 36-45.
4. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Шоева Т.Е. Вещественный состав и технологические свойства глинистого сырья для производства кирпича в Западной Сибири // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 3 (48). С. 32-44.
5. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Шоева Т.Е. Модифицирование низкокачественного глинистого сырья добавкой кремнезола «Лейксил» // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 3. С.37-43. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.03.37-43
6. Фомина О.А., Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В. Анализ глинистого сырья для производства строительной керамики // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. Сборник научных трудов по материалам национальной научно-технической конференции с международным участием. – Новосибирск. 2019. С. 82-89.
7. Глины и глинистые минералы Сибири / под ред. Ю.П. Казанского. – Новосибирск: Наука. 1965. 132 с.
8. Ильина Л.В., Тацки Л.Н. Наномодифицирование низкокачественного глинистого сырья – способ повышения прочности керамического черепка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2022. Т. 22. № 2. С. 28-36. DOI: 10.14529/build220204
9. Тацки, Л.Н. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Н.С. Филин // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 7. – С. 35–48. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48
10. Ильина Л.В. Керамический кирпич на основе низкокачественного глинистого сырья с добавкой отходов ферросиликомарганца / Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки, Л.А. Барышок // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 2 (94). – С. 96–104. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-96-104
11. Тацки, Л.Н. Влияние состава шихты из низкокачественного сырья на свойства осветленного керамического черепка / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2 (88). – С. 114–122. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122



12. Женжурист, И.А. Эффективность использования техногенного аморфного кремнезема в качестве активатора спекания полиминерального глинистого сырья / И.А. Женжурист, И.Р. Мусин // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. – Новокузнецк, 2019. – С. 152–155.

13. Женжурист, И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 36–39.

14. Женжурист, И.А. Перспективы нано- и энерго-модифицирования сырьевых композиций из низкосортного глинистого сырья и отходов производства в строительной керамике / И.А. Женжурист // Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении. – Новосибирск, 2016. – С. 131–136.

15. Мавлюбердинов, А.Р. К вопросу изучения механизма повышения прочности пористого керамического че-

репка при введении химических добавок / А.Р. Мавлюбердинов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 228–232.

16. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Минприроды России; НИИ-Природа. 2019. 847 с.

17. Ильина Л.А., Абдрахимов В.З. Экологические и экономические аспекты использования в производстве строительных материалов отходов топливно-энергетического комплекса и их классификация // Экологические системы и приборы. 2020. № 8. С. 28-44. DOI: 10.25791/esip.08.2020.1173

18. Анпилов С.М., Абдрахимов В.З. Использование золы легкой фракции и межсланцевой глины в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. 2021. № 4. С. 57-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 23.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 67.09 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_1_120

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ДЛЯ ЧАСТНОГО СЛУЧАЯ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗРУШЕНИЯ И ДЕФОРМИРОВАНИЯ

© Авторы 2025

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, доцент, директор института
«Архитектура, строительство и транспорт»
Российская академия архитектуры и строительных наук;
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: monasteryrev68@mail.ru)

AuthorID: 317727

ЕЗЕРСКИЙ Валерий Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство»
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: wiz75micz@rambler.ru)

SPIN: 1041-9513

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

КАЗЬМИН Владислав Александрович

студент

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: kazmin2003@gmail.com)

Аннотация. В рамках термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел наблюдаются случаи схождения температур прямых зависимости логарифма долговечности от напряжений как при предельно высокой температуре (классический случай, получивший название «прямой пучок»), так и при предельно низкой температуре (частный случай, получивший название «обратный пучок»). Для прогнозирования долговечности в рамках указанной концепции необходимо экспериментальное определение четырех термофлуктуационных констант. В настоящей работе, применив аксиоматический метод научного познания, из обобщенного уравнения Журкова для случая схождения прямых температур зависимости логарифма долговечности от напряжения при предельно низком значении (частный случай), с учетом научных основ термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел и методики определения термофлуктуационных констант, получены уравнения для определения долговечности не включающие в себя полный спектр приведенных констант. Использование при прогнозировании долговечности в рамках термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел полученных уравнений позволяет повысить точность такого прогноза за счет отпадения необходимости перестраивать полученный экспериментальный график зависимости логарифма долговечности от напряжения в график зависимости логарифма долговечности от обратной температуры, умноженной на 1000.

Ключевые слова: долговечность; обобщенное уравнение Журкова; обратный пучок; прогнозирование; работоспособность; термофлуктуационная концепция

Для цитирования: Проверка адекватности метода определения термофлуктуационных констант по прямой температуре и контрольной точке для деревянных конструкций / А.В. Ерофеев, П.В. Монастырев, В.А. Езерский, С.М. Анпилов, В.А. Казьмин // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 120-124. doi:10.51608/26867818_2025_1_120.



Original article

THE METHOD OF DETERMINING DURABILITY FOR A PARTICULAR CASE
OF THERMOFLURATION CONCEPT OF DESTRUCTION AND DEFORMATION

© The Author(s) 2025 **YEROFEYEV Alexander Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: AV.Erofeev@yandex.ru)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich

Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Director of the Institute «Architecture, Construction
and Transport»
RAASN; Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: monasteryrev68@mail.ru)

YEZERSKY Valery Alexandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
Tambov State Technical University
(Russia, Kazan, e-mail: wiz75micz@rambler.ru)

ANPILOV Sergey Mikhailovich

Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical
Novosibirsk State Architectural and Construction University
(Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

KAZMIN Vladislav Alexandrovich

Student
Tambov State Technical University
(Russia, Kazan, e-mail: kazmin2003@gmail.com)

Abstract. Within the framework of the thermal fluctuation concept of destruction and deformation of solids, there are cases where the temperatures of linear dependencies of the durability logarithm on stress converge. This occurs both at extremely high temperatures (the classical “direct beam” case) and at extremely low temperatures (a special “reverse beam” case). To predict durability within this framework, it is necessary to experimentally determine four thermal fluctuation constants. In this paper, using the axiomatic method of scientific knowledge, we derive equations for durability from the generalized Zhurkov equation for the specific case of convergence of linear dependencies at extremely low temperatures. These equations account for the scientific foundations of the thermal fluctuation concept and the methodology for determining fluctuation constants but do not require the full range of these constants. The proposed equations improve the accuracy of durability predictions by eliminating the need to transform experimental graphs of the logarithm of durability versus stress into a graph of the logarithm of durability versus the inverse temperature (scaled by a factor of 1000).

Keywords: durability; generalized Zhurkov equation; reverse beam; forecasting; operability; thermoflururation concept; mechanics of deformable solid body; construction mechanics

For citation: The method of determining durability for a particular case of thermoflururation concept of destruction and deformation / A.V. Yerofeyev, P.V. Monastyrev, V.A. Yezersky, S.M. Anpilov, V.A. Kazmin // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 120-124. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_120.

Введение. Прогнозирование долговечности твердых тел представляется возможным осуществлять с термофлуктуационных позиций. В классическом случае зависимость долговечности (логарифма долговечности) от напряжений, которые действуют в твердом теле, и температуры окружающей среды

описывается обобщенным уравнением Журкова, которое имеет следующий вид [1-6]:

$$\tau = \tau_m \cdot \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{R} \cdot (T^{-1} - T_m^{-1}) \right] \quad (1)$$



В уравнение (1) входят 4 термофлуктуационные константы, имеющие следующий физический смысл:

τ_m – минимальное время разрушения твердого тела, характеризующаяся периодом колебания той или иной кинетической единицы (атом, группа атомов или сегментов), [с];

U_0 – максимальная энергия активации процесса разрушения, определяющаяся энергией связей, препятствующей потере целостности тела, причем в металлах она близка к энергии сублимации, в полимерах – к энергии активации процесса термодеструкции, т.е. максимальная энергия активации процесса разрушения численно близка к величине энергии активации распада межатомных связей в твердых телах, [кДж/моль];

γ – структурно-механическая константа, характеризующая эффективность механического поля при приложении к телу нагрузки [кДж/(моль·МПа)];

T_m – предельная температура существования твердого тела, при которой оно распадается за одно тепловое колебание, [К].

Для классического случая, получившего название «прямой пучок», прямые температур зависимости логарифма долговечности от действующих в теле напряжений образуют семейство веерообразных прямых, сходящихся в точке при предельно высокой температуре (рисунок 1).

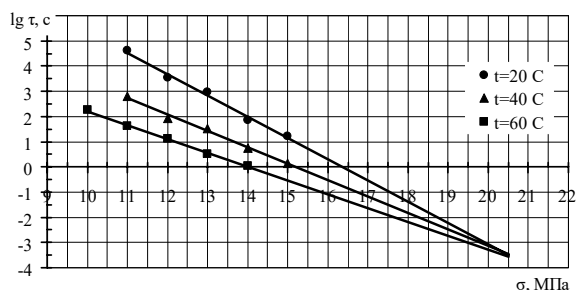


Рисунок 1 – Пример «прямого пучка» зависимости логарифма долговечности от напряжения

Дальнейшие исследования показали, что существует ряд частных случаев, когда наблюдается схождение прямых температур зависимости логарифма долговечности от напряжения в точку при предельно низкой температуре [7-9]. Такое семейство веерообразных прямых получило название «обратного пучка» (рисунок 2). Математическим описанием такой зависимости является видоизмененная форма обобщенного уравнения Журкова:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \left[\frac{U_0^* - \gamma^* \cdot \sigma}{R \cdot T} \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

где τ_0^* , U_0^* , γ^* , T_m^* – эмпирические константы, физический смысл которых до настоящего времени остается не вскрытым.

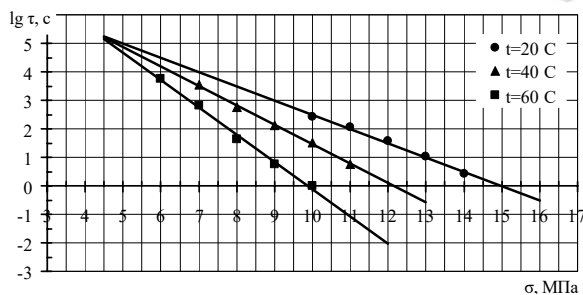


Рисунок 2 – Пример «обратного пучка» зависимости логарифма долговечности от напряжения

Прогнозирование долговечности в обоих случаях сводится к экспериментальному определению термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова, что сопряжено с высокими трудозатратами и сравнительно невысокой точностью их определения методом графического перестроения графиков [10]. Отсюда вытекает задача поиска возможности прогнозирования долговечности твердых тел в рамках термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования без определения полного спектра всех указанных термофлуктуационных констант в случае схождения прямых температур при предельно низком значении.

Методология. Основной целью настоящей работы является на основании обобщенного уравнения Журкова вывод формулы для частного случая (обратный пучок), позволяющей прогнозировать долговечность твердых тел, для которых наблюдается схождение прямых температур зависимости логарифма долговечности от напряжения при предельно низком значении, без определения термофлуктуационных констант.

Работа базируется на применении теоретического уровня познания. Основным методом научного познания является аксиоматический метод, основанный на принятии аксиомы и вывода путем логических и (или) математических умозаключений новых положений [11-12]. В качестве исходной точки принято обобщенное уравнение Журкова и методика определения термофлуктуационных констант [13-14].

Результаты. В рассматриваемом случае значение $lg \tau_m^*$ определяется из координат положения точки полюса пучка прямых температур, а значение T_m определяется из линейной зависимости изменения их тангенса угла наклона [15]. Для определения величин констант γ^* и U_0^* необходимо установить зависимость между их значениями и исходными параметрами – температурой (T), напряжением (σ) и долговечностью ($lg \tau$).

Термофлуктуационные константы γ^* и U_0^* определяются из графика в координатах $U - \sigma$ (рисунок 3).

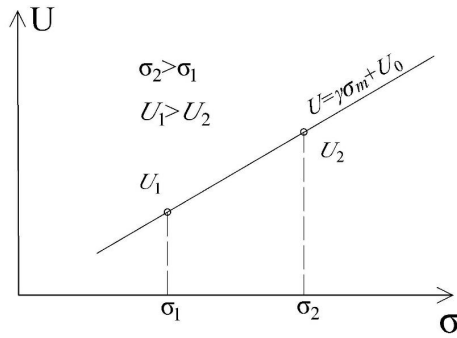


Рисунок 3 – График зависимости энергии активации от напряжения для случая схождения прямых температур зависимости логарифма долговечности от напряжения при предельно низкой температуре

Зависимость энергии активации от напряжения выражается уравнением:

$$U = (-\gamma^*) \cdot \sigma_m + U_0^*, \quad (3)$$

Тогда при $U = 0$ уравнение (3) будет иметь вид:

$$U_0 = \gamma^* \cdot \sigma_m. \quad (4)$$

Подставив полученное значение U_0^* в обобщенное уравнение Журкова для случая схождения прямых температур зависимости логарифма долговечности при предельно низкой температуре, получим

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_m^* \cdot \exp \left[\left(\frac{\gamma^* \cdot \sigma_m \cdot \gamma^* \cdot \sigma}{R \cdot T} - 1 \right) \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) \right] = \\ &= \tau_m^* \cdot \exp \left[\left(\frac{\gamma^* \cdot (\sigma_m \cdot \sigma)}{R \cdot T} - 1 \right) \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

или

$$\begin{aligned} \lg \tau &= \lg \tau_m^* + \frac{\gamma^* \cdot \sigma_m - \gamma^* \cdot \sigma}{R \cdot T} \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) = \\ &= \lg \tau_m^* + \frac{\gamma^* \cdot (\sigma_m - \sigma)}{R \cdot T} \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициент γ^* в формуле (3) является тангенсом угла наклона прямой в координатах $U - \sigma$ (рисунок 3), поэтому его можно представить в следующем виде:

$$\gamma^* = \frac{U_2 - U_1}{\sigma_2 - \sigma_1}, \quad (7)$$

где U_1 и U_2 определяются по формуле:

$$U_i = 2,3 \cdot R \cdot \frac{\Delta \lg \tau_i}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right)}. \quad (8)$$

Для определения значений, входящих в формулы (3) и (8) введем ряд обозначений, представленных на рисунке 4. Примем, что σ_2 больше, чем σ_1 , T_2 больше, чем T_1 . Уравнение прямой температуры T_1 описывается $\lg \tau = a_1 \cdot \sigma + b_1$, а уравнение прямой температуры $T_2 - \lg \tau = a_2 \cdot \sigma + b_2$. Обозначение точек принято следующим образом: $\lg \tau_n^m$, где n – соответствует индексу принятого напряжения, а m – индексу принятой температуры.

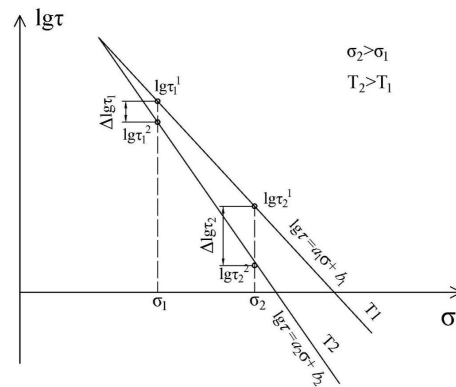


Рисунок 4 – График зависимости десятичного логарифма долговечности от напряжения при заданной температуре в случае схождения прямых температур при предельно низкой температуре

Тогда формула (7) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \gamma^* &= \frac{2,3 \cdot R \cdot \frac{\Delta \lg \tau_2}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right)} - 2,3 \cdot R \cdot \frac{\Delta \lg \tau_1}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right)}}{\sigma_2 - \sigma_1} = \\ &= \frac{2,3 \cdot R \cdot (\Delta \lg \tau_2 - \Delta \lg \tau_1)}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)}. \end{aligned} \quad (9)$$

В формуле (7) $\lg \tau_1 = \lg \tau_1^1 - \lg \tau_1^2$, а $\lg \tau_2 = \lg \tau_2^1 - \lg \tau_2^2$ (рисунок 4). Тогда:

$$\begin{aligned} \gamma^* &= \frac{2,3 \cdot R \cdot (\Delta \lg \tau_2 - \Delta \lg \tau_1)}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)} = \\ &= \frac{2,3 \cdot R \cdot (\lg \tau_2^1 - \lg \tau_2^2 - \lg \tau_1^1 + \lg \tau_1^2)}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Значение $\lg \tau_n^m$ определяются из уравнения

$$\lg \tau_n^m = a_i \cdot \sigma_i + b_i \quad (\text{рисунок 4}).$$

$$\begin{aligned} \gamma^* &= \frac{2,3 \cdot R \cdot (a_1 \cdot \sigma_2 + b_1 - a_2 \cdot \sigma_2 - b_2 - a_1 \cdot \sigma_1 - b_1 + a_2 \cdot \sigma_1 + b_2)}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)} = \\ &= \frac{2,3 \cdot R \cdot (\sigma_2 \cdot (a_1 - a_2) - \sigma_1 \cdot (a_1 - a_2))}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)} = \\ &= \frac{2,3 \cdot R \cdot ((\sigma_2 - \sigma_1) \cdot (a_1 - a_2))}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, на основании полученных преобразований имеем:

$$\gamma^* = \frac{2,3 \cdot R \cdot (a_1 - a_2)}{\Delta \left(\frac{1000}{T} \right)}. \quad (12)$$



Заметим, что отношение $(a_1 - a_2)$ к $\Delta(1000/T)$ является тангенсом угла наклона прямой в координатах $a - (1000/T)$, взятого с обратным знаком:

$$k = \frac{(a_1 - a_2)}{\Delta\left(\frac{1000}{T}\right)} \cdot \frac{[c^{-1}]}{K^{-1} \cdot \text{МПа}}. \quad (13)$$

Тогда выполнив ряд математических преобразований можно получить:

$$\tau = \tau_m^* \cdot \exp\left[\left(\frac{2,3 \cdot k \cdot 10^3}{T} - 1\right) \cdot (\sigma_m - \sigma) \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1\right)\right] \quad (14)$$

$$\text{и } \lg \tau = \lg \tau_m^* + \left(\frac{2,3 \cdot k \cdot 10^3}{T}\right) \cdot (\sigma_m - \sigma) \cdot \left(\frac{T_m^*}{T} - 1\right). \quad (15)$$

Полученные формулы (14) и (15) позволяют определять долговечность твердых тел без определения термофлуктуационных констант γ^* и U_0^* , что в свою очередь не требует дополнительных перестроений графиков, в связи с чем повышается точность производимых расчетов.

Обсуждение. Полученные формулы (14) и (15) по сути являются производными формулы (1), из чего следует сопоставимость результатов определения долговечности по обобщенному уравнению Журкова и полученным формулам.

Выводы. Полученные формулы (14) и (15) позволяют определять долговечность твердых тел без определения термофлуктуационных констант γ^* и U_0^* , что в свою очередь не требует дополнительных перестроений графиков, в связи с чем повышается точность производимых расчетов. В данном случае требуется определение только коэффициента k .

Перспективой дальнейшего исследования являются исследования направленные на повышение точности прогнозирования долговечности в рамках термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел.

Библиографический список

1. Журков, С. Н. Проблема прочности твердых тел / С. Н. Журков // Вестник Академии Наук СССР. - 1957. - № 11. - С. 78-84.
2. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слущер, Э.Е. Томашевский. - М.: Наука, 1974. - 560 с.
3. Журков С.Н., Назруллаев Б.Н. Временная зависимость прочности твердых тел // Журнал технической физики. 1983. Т. 23. № 10. С. 1677.
4. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. - М.: Химия, 1992. - 320 с.

5. Слущер, А. И. (Санкт-Петербург) ФОРМУЛА ЖУРКОВА. XV Петербургские чтения по проблемам прочности. Санкт-Петербург, 12-14 апреля 2005 г.: сборник тезисов. СПб., 2005, 174 с.

6. Ерофеев, А. В. Проблематика прогнозирования работоспособности строительных материалов с позиций термофлуктуационной концепции / А. В. Ерофеев // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2023. – С. 382-383.

7. Ярцев, В.П. Физико-технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях: Дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / В.П. Ярцев. – Воронеж, 1998. – 350 с.

8. Ярцев В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации / В. П. Ярцев, О. А. Киселева. – Тамбов: Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2009. – 124 с.

9. Мухортов, П. А. Термофлуктуационные коэффициенты обобщенного уравнения Журкова деревянных балок цельного и составного сечений / П. А. Мухортов, А. В. Ерофеев // Взгляд молодых на проблемы региональной экономики - 2018 : Материалы Всероссийского открытого конкурса студентов вузов и молодых исследователей. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2018. – С. 113-120

10. Ерофеев, А. В. Роль человеческого фактора в определении термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова графическим способом / А. В. Ерофеев, Р. Н. Дранников, Т. И. Горохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2020. – № 7-8(258-259). – С. 25-28.

11. Лебедев, С. А. Дедуктивно-аксиоматический метод научного познания / С. А. Лебедев // Журнал философских исследований. – 2017. – Т. 3, № 2. – С. 20-43.

12. Столяров, В. И. Диалектическая методология построения теории в современном научном познании / В. И. Столяров. – М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2024. – 482 с. – ISBN 978-5-16-019233-8

13. Ярцев, В. П. Влияние климатического старения на эксплуатационные свойства древесно-стружечной плиты / В. П. Ярцев, В. М. Данилов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 3(272). – С. 39-45.

14. Ярцев, В. П. Термофлуктуационные закономерности разрушения и деформирования минераловатной плиты при силовом воздействии / В. П. Ярцев, В. М. Данилов // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – С. 79-84.

15. Ерофеев, А. В. Гипотеза о линейности изменения угловых коэффициентов прямых температур зависимости логарифма долговечности от напряжения / А. В. Ерофеев, Т. И. Горохов, С. И. Горохов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : матер. юбилейной двадцатой междунар. научно-техн. конф., посвященной 90-летию МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск, 27 декабря 2021 года. – Саранск: Национальный исследовательский МГУ им. Н.П. Огарёва, 2021. – С. 291-295.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 691.175

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_1_125

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРУ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

© Авторы 2025

SPIN: 4522-0478

ORCID:0009-0007-6075-5236

SPIN: 7494-0840

ORCID: 0000-0002-2328-6238

ScopusID: 57190161363

ResearcherID: B-1228-2017

ЛАНКИНА Юлия Алексеевна

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»

(Россия, Саранск, e-mail: julankina@yandex.ru)

НИЗИНА Татьяна Анатольевна

доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»

(Россия, Саранск, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Аннотация. Для получения эффективных полимерных композитов и снижения их себестоимости в полимерное связующее вводятся различные наполнители, существенно влияющие на физико-механические свойства композитов и их структуру. В зависимости от степени наполнения, вида наполнителя и его удельной поверхности наблюдается формирование в структуре полимерных композитов агрегированных образований, представляющих собой совокупность частиц, разделенных прослойками полимера, находящегося в пленочном состоянии. В работе проведен анализ изменения прочностных показателей наполненных мелом, маршалитом и диатомитом эпоксидных композитов с различной степенью наполнения (от 20 до 80%). Исследовано распределение микротвердости эпоксидных полимеров, наполненных мелом, при различных степенях наполнения. Подтверждено, что при достижении оптимальной дисперсности и степени наполнения в композите наблюдается процесс формирования кластеров, характеризуемых повышенными прочностными показателями.

Ключевые слова: эпоксидные композиты; наполнитель; степень наполнения; плотность; дисперсность; удельная поверхность; структура; кластер

Для цитирования: Ланкина Ю.А., Низина Т.А. Исследование влияния наполнителей на изменение свойств и структуру наполненных эпоксидных композитов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 125-130. doi:10.51608/26867818_2025_1_125.

Original article

STUDY OF THE FILLERS EFFECT ON THE CHANGE OF PROPERTIES AND STRUCTURE OF FILLED EPOXY COMPOSITES

© The Author(s) 2025

LANKINA Yulia Alekseevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

National Research Ogarev Mordovia State University

(Russia, Saransk, e-mail: julankina@yandex.ru)

NIZINA Tatiana Anatolyevna

Dr. of Technical, Prof.

National Research Ogarev Mordovia State University

(Russia, Saransk, e-mail: nizinata@yandex.ru)

Abstract. In order to obtain effective polymer composites and reduce their production costs, various fillers are introduced into the polymer binder, significantly affecting the physical and mechanical properties of composites and their structure. Depending on the degree of filling, type of filler and its specific surface area, the production of aggregate formations in the structure of polymer composites is observed. Aggregate formations are a set of particles separated by layers of polymer in the film state. In this work we analyzed the change of strength parameters of epoxy composites filled with chalk, marshalite and diatomite with



different degree of filling (from 20 to 80%). The distribution of microhardness of epoxy polymers filled with chalk at different degrees of filling was investigated. It is confirmed that at achievement of optimum dispersity and degree of filling in the composite the process of formation of clusters characterized by the increased strength indices is observed.

Keywords: epoxy composites; filler; degree of filling; density; dispersibility; specific surface area; structure; cluster

For citation: Merkulov S.I., Esipov S.M. Study of the fillers effect on the change of properties and structure of filled epoxy composites // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 125-130. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_125.

В последние десятилетия в нашей стране широкое развитие получило производство различных полимерных композитных материалов, в том числе на основе эпоксидных смол. В настоящее время область применения полимерных композитов настолько обширна, что трудно назвать отрасли производства и сферы жизни человека, где они не используются. В строительстве различные виды полимеров могут выступать в качестве аналогов традиционных стройматериалов, при этом направления применения полимеров в строительстве также чрезвычайно разнообразны [1-3]. Часто один и тот же материал может использоваться в различных областях, например – в качестве звуко- и теплоизоляции, конструкционных и декоративно-отделочных элементов. Повсеместное использование полимерных композитов обусловлено, прежде всего, сочетанием таких свойств, как: относительно малый удельный вес, высокая стойкость к климатическим воздействиям и агрессивным средам, высокая удельная прочность и др.

Одним из возможных способов применения полимерных композиционных материалов в качестве аналогов традиционных стройматериалов является их использование в качестве армирующих ребер для укрепления асфальтового покрытия в участках, примыкающих к деформационным швам, где от интенсивной нагрузки часто происходит разрушение покрытия из-за невозможности полного уплотнения асфальта на этих участках [4]. Для выполнения данных функций полимерный композит должен обладать достаточной прочностью, повышенной климатической стойкостью и стоимостью, сопоставимой со стоимостью асфальтового покрытия.

Для получения эффективных полимерных композитов и снижения их себестоимости в полимерное связующее вводятся различные наполнители, существенно влияющие на физико-механические свойства композитов и их структуру. Известно [5-7], что при введении в полимерную матрицу наполнитель (в зависимости от плотности и гранулометрического состава) может распределяться в объеме композита не равномерно, группируясь в виде агрегированных образований, представляющих собой совокупность частиц, разделенных прослойками полимера, находящегося в пленочном состоянии. При этом в зависимости от дисперсности и количества вводимого наполнителя вид этих образований

может существенно различаться [5-6, 8-10]; это может быть кластер, если возникает совокупность частиц наполнителя, разделенных прослойками полимера, находящихся полностью в пленочной фазе или агрегат, образованный совокупностью закапсулированных частиц (группа частиц, не смоченных полимерным связующим).

С повышением степени наполнения полимерного композита происходит закономерное уменьшение подвижности смеси, в результате чего снижается возможность относительного перемещения частиц наполнителя друг относительно друга [11-12], что, как следствие, приводит к образованию пор и микродефектов в структуре материала и влечет за собой снижение прочности и трещиностойкости композита, что недопустимо при их применении в качестве армирующих ребер дорожного полотна в переходной зоне деформационных швов.

В рамках проведенных исследований осуществлялась оценка зависимости физико-механических характеристик эпоксидных композитов, наполненных мелом, маршалитом и диатомитом, при повышении степени наполнения от 20 до 80% (от предельного наполнения) по массе. Данные наполнители обладают различной удельной поверхностью частиц, плотностью и дисперсностью (таблица 1), что позволяет наглядно проследить тенденции изменения свойств композитов в зависимости от степени наполнения и крупности наполнителя.

Таблица 1 – Основные свойства исследуемых наполнителей эпоксидных композитов

Показатели	Вид наполнителя		
	мел	маршалит	диатомит
Насыпная плотность, кг/см ³	1120 - 1300	1000 - 1100	340 - 650
Удельная поверхность, см ² /г	1000 - 1100	250 - 300	1500 - 2000

По результатам проведенных исследований установлено, что предел прочности на растяжение при изгибе для всех составов, содержащих наполнители, снижается по сравнению с ненаполненным композитом (рис. 1, а). Вероятно, это связано с тем, что вводимый в полимерное связующее наполнитель распределяясь в объеме композита, меняет соотношение объемной и пленочной фаз матрицы. При этом на границе раздела «наполнитель–полимерное связующее» из-за разницы модулей упруго-

сти и коэффициентов термического расширения возникают структурные напряжения, являющиеся источниками трещинообразования.

Наибольшие значения предела прочности на растяжение при изгибе выявлены для образцов, наполненных мелом. Вероятно, это связано с тем, что в эпоксидном композите, наполненном мелом, образуется пространственный каркас из частиц наполнителя и пленочной фазы матрицы, пронизывающей объем композита, и прочность такой системы более высокая, чем при наполнении составов другими видами наполнителей. Частицы в данном случае начинают группироваться таким образом, чтобы полимер в пространстве между ними полностью переходил в ориентационно-упорядоченное упрочненное пленочное строение граничного слоя.

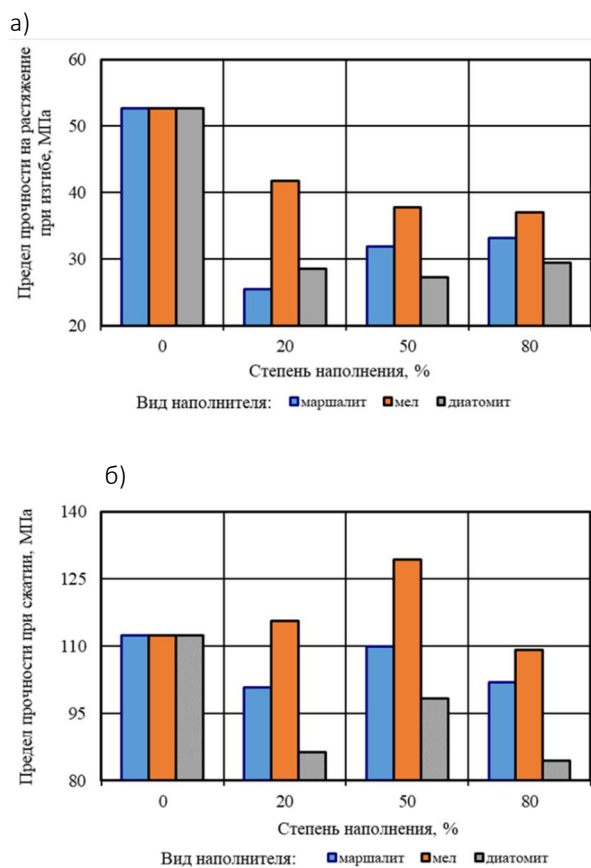


Рис. 1. Изменение физико-механических характеристик (а – предел прочности на растяжение при изгибе; б – предел прочности при сжатии), наполненных эпоксидных композитов от степени наполнения и вида наполнителя

Установлено, что предел прочности при сжатии наполненных эпоксидных композитов снижается при введении в состав полимерного связующего таких наполнителей как маршалит и диатомит (рис. 1, б). Исключения составляют составы, наполненные мелом, для которых прочность при сжатии повышается при степени наполнения 20 и 50%. Вероятно, это также обусловлено оптимальным соотношением

удельной поверхности частиц, плотности наполнителя и степени наполнения. Изменение предела прочности при сжатии носит экстремальный характер – для всех наполненных составов максимальные значения предела прочности при сжатии зафиксированы при 50% степени наполнения, при этом низкие значения прочностных характеристик зафиксированы как при малом содержании (20%) наполнителя, так и при повышении степени наполнения до 80%. Это объясняется тем, что при малом содержании, наполнитель, неравномерно распределяясь по объему материала, образует очаги концентрации напряжений и, тем самым, приводит к снижению прочностного показателя. Наблюдающееся при больших степенях наполнения (80%) снижение прочности, прежде всего, связано с возникновением в объеме большого количества пор, интенсивно образующихся в структуре материала вследствие нехватки эпоксидного связующего. Композиты, наполненные мелом, показывают более высокие показатели прочности по сравнению с ненаполненным составом при оптимальной степени наполнения, но в целом характер кривой изменения прочностных характеристик не отличается от остальных составов.

Таким образом можно предположить, что положительный эффект от введения наполнителей существенно зависит не только от степени наполнения, но и от вида наполнителя и удельной поверхности его частиц. При этом как при использовании тонкодисперсного наполнителя (диатомит), так и при использовании наполнителя с более крупным размером частиц (маршалит) происходит формирование отдельных несвязанных кластеров, что не приводит к усилению композита, а снижает прочностные характеристики вследствие концентрации внутренних напряжений на границе раздела с объемной матрицей. На наш взгляд это связано с зависимостью величины образующихся в объеме композита структурных дефектов от удельной поверхности частиц используемого наполнителя.

При этом при определенном оптимальном содержании наполнителя весь объем композита пронизывается непрерывным кластером, формирующим пространственный каркас, а фазовый переход затрагивает весь объем по сравнению с мало наполненными составами. Дальнейшее повышение содержания наполнителя приводит к уменьшению толщины прослойки пленочной фазы между его частицами. При достижении критически малой толщины прослойка распадается на отдельные части с образованием большого числа пор, значительно снижающих прочностные характеристики композита.

Полученные данные позволяют предполагать, что не только степень наполнения, но и размер частиц наполнителя, а также его дисперсность и плотность оказывают существенное влияние на физико-



механические свойства наполненных полимеров. Как известно, для многих наполненных систем характерна неоднородность распределения свойств материалов по объему, от которой зависит разброс физико-механических свойств композитов.

Для научного обоснования изменения свойств полимерных композитов при введении в состав связующего различных наполнителей необходимо иметь результаты экспериментальных исследований распределения свойств материалов по высоте поперечного сечения. С этой целью проведены исследования распределения свойств полимерных композиционных материалов по высоте поперечного сечения методом кинетической (невосстановленной) микротвердости. По результатам проведенных исследований получены данные, которые позволяют судить об изменении микротвердости в зависимости от координаты сечения. На рис. 2 – 5 представлены результаты изменения микротвердости по высоте поперечного сечения для ненаполненного состава и составов, наполненных мелом, при степени наполнения 20%, 50% и 80%.

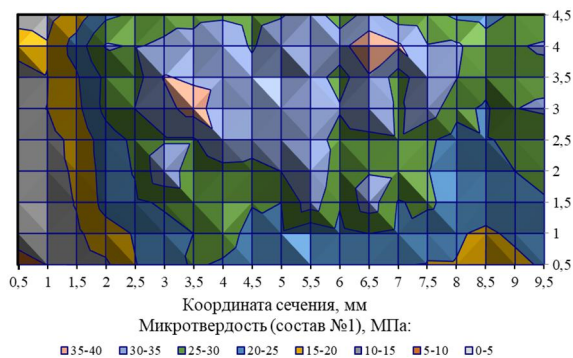


Рис. 2. Изменение микротвердости по сечению эпоксидных композитов (ненаполненный состав)

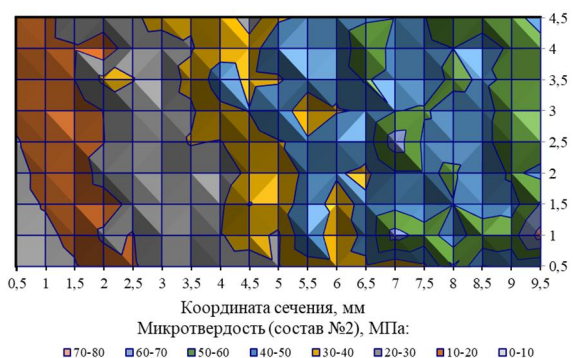


Рис. 3. Изменение микротвердости по сечению эпоксидных композитов (степень наполнения мелом 20%)

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при введении в полимерное связующее наполнителя в структуре материала возникают очаги неоднородности или агрегаты, которые, вероятно, образованы системой частиц наполнителя и имеют более высокие значения микротвердости.

Для эпоксидного композита со степенью наполнения мелом 20% (рис. 3) видно образование отдельных областей, имеющих повышенные значения микротвердости. При этом эти области значительно удалены друг от друга, что подтверждает теорию о формировании отдельных несвязанных кластеров при низкой степени наполнения, которые, как правило, приводят к снижению прочностных характеристик вследствие концентрации внутренних напряжений на границе раздела с объемной матрицей.

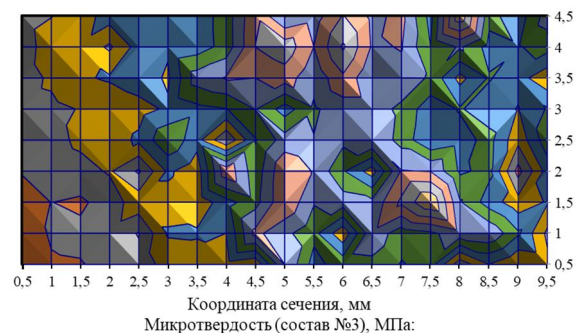


Рис. 4. Изменение микротвердости по сечению эпоксидных композитов (степень наполнения мелом 50%)

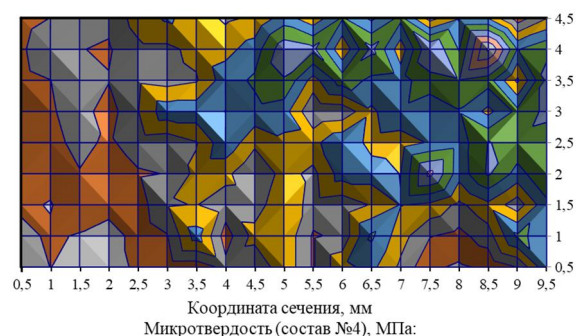


Рис. 5. Изменение микротвердости по сечению эпоксидных композитов (степень наполнения мелом 80%)

График распределения микротвердости по высоте поперечного сечения, представленный на рис. 4, свидетельствует о наличии более равномерно распределенных областей с явно выраженными повышенными упруго-прочностными характеристиками, формирующими пространственный каркас композита (непрерывный кластер), в результате чего наблюдается значительное увеличение прочности материала (степень наполнения 50%).

При дальнейшем повышении степени наполнения композита мелом до 80% наблюдается наибольший разброс значений микротвердости по сечению композита (рис. 5), что, вероятно, вызвано скоплением большого числа частиц наполнителя и достижением критически малой толщины прослойки пленочной фазы между его частицами. Это вызывает появление агрегатов из частиц наполнителя, не смоченных связующим и закапсулированных в нем; в ре-



зультате чего появляются поры, резко снижающие прочностные характеристики.

Для количественной оценки степени неоднородности распределения микротвердости по высоте поперечного сечения определим площади поверхностей, формируемые по результатам экспериментальных исследований (рис. 2 – 5). Разобьем исследуемую поверхность на квадраты с размером ячейки 0,5 мм. Известно [5], что площадь выпуклого четырехугольника, который можно вписать в окружность, определяется по формуле:

$$S = \sqrt{(P - a) \cdot (P - b) \cdot (P - c) \cdot (P - d)}, \quad (1)$$

где $P = (a + b + c + d)/2$; a, b, c и d – стороны четырехугольника, определяемые по координатам точек поверхности.

Для упрощения расчета целесообразно каждый выпуклый четырехугольник разбить на два треугольника и определить их площадь по формулам:

$$S_1 = \sqrt{P_1 \cdot (P_1 - a) \cdot (P_1 - b) \cdot (P_1 - m)}, \quad (2)$$

$$S_2 = \sqrt{P_2 \cdot (P_2 - c) \cdot (P_2 - d) \cdot (P_2 - m)}, \quad (3)$$

где $P_1 = (a + b + m)/2$; $P_2 = (c + d + m)/2$; m – диагональ четырехугольника, рассчитываемая по координатам точек поверхности.

Из анализа проведенных расчетов (табл. 2) установлено, что наиболее значительная неоднородность распределения микротвердости по высоте поперечного сечения наблюдается для высоконаполненных составов (50 и 80% наполнения), что подтверждает вышеприведенные выводы. Для состава с 80% степенью наполнения наблюдается некоторое снижение относительной площади поверхности изменения микротвердости по сравнению с композицией, наполненной 50% мела, что, очевидно, можно объяснить более высокой плотностью распределения частиц наполнителя в объеме композита, что приводит к меньшей изрезанности профилей поверхности.

Таблица 2 – Значения относительной площади поверхностей, формируемых значениями микротвердости, фиксируемыми с шагом 0,5 мм

Степень наполнения, %	0	20	50	80
Относительная площадь поверхности*	8,78	17,45	70,71	65,22

* Относительно площади горизонтальной площадки размером 4×9 мм.

Анализ структуры эпоксидных композиций показал, что прочностные характеристики материала существенно зависят от удельной поверхности частиц, плотности и дисперсности наполнителя, а также от его способности образовывать при соединении с полимерным связующим регулярные кластерные системы, которые можно описать как фрактальные. При достижении оптимальной дисперсности и степени наполнения композита наблюдается процесс кластерообразования, когда отдельные ча-

стицы наполнителя сближаются и взаимодействуют между собой, образуя в зазорах пленочную структуру матрицы, которая отличается упорядоченностью и повышенной плотностью, так называемый пространственный каркас, что позволяет создавать материалы с высокими прочностными характеристиками. При этом анализ кластерной структуры композитов играет важную роль в сборе информации для моделирования процессов образования микродефектов в структуре материала.

Библиографический список

- Хозин, В. Г. Основные области применения эпоксидных материалов в технике // Все материалы: энциклопедический справочник. – 2008. – № 11. – С. 12–16.
- Современные полимерные композиционные материалы и их применение / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5–1. – С. 245–256.
- Пахаренко, В. А. Пластмассы в строительстве / В. А. Пахаренко, В. В. Пахаренко, Р. А. Яковлева. – Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2010. – 350 с.
- Ланкина, Ю. А. Перспективы применения наполненных функционально-градиентных эпоксидных композитов в дорожном строительстве / Ю. А. Ланкина, Т. А. Низина // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4(27). – С. 44–49. – DOI 10.51608/26867818_2024_4_44. – EDN IHQMPJ.
- Низина, Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т. А. Низина. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2007. – 260 с. – ISBN 978-5-7103-1661-0. – EDN TDPYWB.
- Ланкина, Ю. А. Разработка функционально-градиентных материалов для защитно-декоративных покрытий на основе эпоксидных смол : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ланкина Юлия Алексеевна. – Саранск, 2007. – 239 с. – EDN NOMNBV.
- Структура и свойства дисперсно-наполненных композитных материалов / А. Н. Бобрышев, А. В. Лажно, Р. В. Козомазов, А. А. Бобрышев. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 160 с.
- Селяев, В.П. Полимербетоны: монография / В. П. Селяев, Ю. Г. Иващенко, Т. А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с
- Улучшение механических и эксплуатационных свойств полимерных материалов путем использования наполнителей / А. С. Кононенко, В. Ф. Алешин, А. Ю. Колобов [и др.] // Международный научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 59–66.
- Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10–3. – С. 459–465. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858>
- Многокритериальная оптимизация составов наполненных микроальцитом эпоксидных композитов / А. Н. Чернов, Т. А. Низина, Д. Р. Низин [и др.] // Долговечность стро-



ительных материалов, изделий и конструкций : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора В.П. Селяева, Саранск, 03–05 декабря 2019 года / Ответственный редактор А.Л. Лазарев. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. – С. 428-437. – EDNFZUIK.

12. Оценка эффективности применения наполненных полифракционным микрокальцитом полимерных защитно-декоративных покрытий / Т. А. Низина, А. Н. Чернов, Д. Р. Низин [и др.] // Долговечность, прочность и механика

разрушения строительных материалов и конструкций : Материалы XI академических чтений РААСН- Международной научно-технической конференции, посвященной памяти первого председателя научного совета РААСН "Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов", почетного члена РААСН, доктора технических наук, профессора Зайцева Юрия Владимировича, Саранск, 27–28 ноября 2020 года / Редколлегия: В.И. Травуш, В.П. Селяев, П.А. Акимов [и др.], отв. редактор А.Л.Лазарев. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – С. 158-167. – EDNWKUYU.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 23.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67.09 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_1_131

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ШЛАМОЗОЛОБЕТОН С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМ ПОКРЫТИЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫМ УГЛЕРОДНЫМ НАНОМАТЕРИАЛОМ

© Авторы 2024
SPIN: 2514-7976

ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич

иностраный академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» РААСН; *Белорусский национальный технический университет (Беларусь, Минск, e-mail: sleonovichsn@mail.ru)*

SPIN: 1041-9513

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК *Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@gmail.com)*

SPIN: 8734-8947

САДОВСКАЯ Елена Александровна

заведующая кафедрой «Инженерная графика строительного профиля» *Белорусский национальный технический университет (Беларусь, Минск, e-mail: elena_koleda@bk.ru)*

SPIN: 8387-8220

КИМ Лев Владимирович

кандидат технических наук, профессор, советник РААСН *Дальневосточный федеральный университет (РФ, Владивосток, e-mail: kimlv2@yandex.ru)*

ШАЛЫЙ Евгений Евгеньевич

аспирант Инженерной школы *Дальневосточный федеральный университет (РФ, Владивосток, e-mail: john_shamali@mail.ru)*

Гуо Си

президент, профессор *Национальный университет Внутренней Монголии (КНР, Хух-Хото, e-mail: guoxi@imut.edu.cn)*

Хао Ян Хонг

вице-президент, профессор *Национальный университет Внутренней Монголии (КНР, Хух-Хото, e-mail: 13947133205@163.com)*

Аннотация. Цель данного исследования – разработка уникального полифункционального композиционного материала и изучение его свойств. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи: исследование эволюции механических свойств шламозолобетона при действии циклического водонасыщения-высушивания; исследование электропроводящего покрытия, модифицированного углеродным наноматериалом; исследование затвердевания тяжелых металлов и механических свойств шламозолобетона под действием циклического водонасыщения-высушивания; исследование шламозолобетона с электропроводящим покрытием, модифицированного углеродным наноматериалом. В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется более 200 городских очистных сооружений канализации. Количество влажных осадков, выделяющихся при очистке сточных вод на городских очистных сооружениях, может составлять



до 2 % от объема поступающих сточных вод. Значительный объем образующихся отходов создает проблему с необходимостью их размещения, и не только в Беларуси, но и в большинстве стран мира. Наиболее перспективный метод применения осадков сточных вод, заключается в использовании обезвоженного осадка в качестве топлива, альтернативного углю, например, для производства цемента. Хотя этот подход в определенной степени обеспечивает эффективную утилизацию осадка, но в процессе его сжигания зола обогащается токсичными тяжелыми металлами, что создает риск загрязнения окружающей среды. Таким образом, это не решает полностью проблему переработки осадка. Было предложено использовать полученную шламовую золу в качестве дополнительного вяжущего материала для бетона с целью предотвращения выщелачивания тяжелых металлов в осадках и снижения воздействия на окружающую среду при производстве клинкера. Вместе с тем существует проблема паводков и других внешних факторов, провоцирующих насыщение бетона водой, что приводит к расширению и сжатию материала, тем самым увеличивая внутреннее напряжение бетона. Когда эти напряжения достигают порога прочности бетона, начинают образовываться трещины. В то же время это увеличивает риск выщелачивания тяжелых металлов из бетонной матрицы. Данные факторы явились проблемой для применения шламосолобетона в зеленом строительстве.

Ключевые слова: полифункциональный шламосолобетон; электропроводящее покрытие; углеродный наноматериал; выщелачивание; тяжелые металлы; прочность на сжатие; пористость; строительная механика

Для цитирования: Полифункциональный шламосолобетон с электропроводящим покрытием, модифицированным углеродным наноматериалом / С.Н. Леонович, С.М. Анпилов, Е.А. Садовская, Л.В. Ким, Е.Е. Шалый, Гуо Си, Хао Ян Хонг // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 131-136. doi:10.51608/26867818_2025_1_131.

Original article

POLYFUNCTIONAL SLUDGE CONCRETE WITH CONDUCTIVE COATING MODIFIED WITH CARBON NANOMATERIAL

© The Author(s) 2025

LEONOVICH Sergei Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, foreign academician RAACS, Head of Building materials and Technology of Construction Department
RAACS; Belarusian National Technical University
(Republic of Belarus, Minsk)

ANPILOV Sergey Mikhailovich

Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof. Novosibirsk State Architectural and Construction University
(Russia, Novosibirsk, e-mail: anpilovsm@gmail.com)

SADOVSKAYA Elena Alexandrovna

Head of the Department of Engineering Graphics of the Construction
Belarusian National Technical University
(Republic of Belarus, Minsk)

KIM Lev Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Professor
Far Eastern Federal University
(Russia, Vladivostok)

SHALY Evgeniy Evgenievich

PhD Candidate
Far Eastern Federal University
(Russia, Vladivostok)

Guo Xi

President, Professor
Inner Mongolia university of Technology
(PRC, Hohhot)



Hao Yun Hong
Vice-President, Professor
Inner Mongolia university of Technology
(PRC, Hohhot)

Abstract. The purpose of this paper is to develop a unique multifunctional composite material and study its properties. To achieve this goal, it is necessary to solve the following main tasks: study of the evolution of mechanical properties of sludge concrete under the action of cyclic water saturation-drying; study of conductive coating modified with carbon nanomaterial; study of hardening of heavy metals and mechanical properties of sludge concrete under the influence of cyclic water saturation-drying; study of sludge concrete with an electrically conductive coating modified with carbon nanomaterial. Currently, there are more than 200 municipal sewage treatment plants in operation in the Republic of Belarus. The amount of wet sludge released during wastewater treatment at municipal treatment plants can be up to 2% of the volume of incoming wastewater. A significant amount of waste generated creates a problem with the need to place it, and not only in Belarus, but also in most countries of the world. The most promising method of using wastewater sludge is to use dewatered sludge as a fuel alternative to coal, for example, for cement production. Although this approach to a certain extent ensures effective disposal of sludge, but in the process of its combustion, the ash is enriched with toxic heavy metals, which creates a risk of environmental pollution. Thus, this does not completely solve the problem of sludge recycling. It was proposed to use the obtained sludge ash as an additional binder for concrete in order to prevent the leaching of heavy metals in sediments and reduce the environmental impact of clinker production. At the same time, there is the issue of floods and other external factors that provoke saturation of concrete with water, which leads to expansion and contraction of the material, thereby increasing the internal stress of the concrete. When these stresses reach the strength threshold of the concrete, cracks begin to form. At the same time, this increases the risk of leaching of heavy metals from the concrete matrix. These factors have become a problem for the use of slurry concrete in green building.

Keywords: multifunctional sludge and ash concrete; electrically conductive coating; carbon nanomaterial; leaching; heavy metals; compressive strength; porosity; construction mechanics

For citation: Polyfunctional sludge concrete with conductive coating modified with carbon nanomaterial / S.N. Leonovich, S.M. Anpilov, E.A. Sadovskaya, L.V. Kim, E.E. Shaly, Guo Xi, Hao Yun Hong // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 131-136. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_131.

Введение. Технические университеты Внутренней Монголии и Беларуси на протяжении длительного периода времени активно сотрудничают в изучении гидратации, температуры фазового перехода, напряжения, в выявлении механизма эволюции тяжелых металлов и механических свойств шламового золобетона, затвердевшего в процессе циклов «намокания-высыхания» [1-7].

Университеты Внутренней Монголии и Беларуси сотрудничали в создании модели эволюции пористой структуры при затвердевании тяжелых металлов и формировании механических свойств бетона из золы сточных вод [8-11].

Основываясь на приведенных выше исследованиях в сочетании с исследованиями характеристик бетонов под воздействием температур и влаги, проведенными группой БНТУ, данный проект открывает новые перспективы, а разрабатываемые методики закладывают основу для их продвижения и применения, а также обеспечивают взаимовыгодное сотрудничество между обеими сторонами проекта. Совместный проект обеспечивает экспериментальную и теоретическую основу, что в конечном итоге приведет к созданию бетона из золы сточных вод, который подходит для применения как в условиях большой разницы температур, так для зон наводнений [12-13]. Таким образом, реализация данного проекта может не только углубить сотрудничество

между Китаем и Беларусью в области экологического гражданского строительства и способствовать инновациям в научных исследованиях, но и внести вклад в решение экологических проблем, послужить дальнейшему развитию международного сотрудничества и обмену результатами научных исследований между обеими сторонами.

1. Шламобетон с электропроводящим покрытием. В данном исследовании предлагается создать композитный материал, состоящий из шламозолобетона с известными прочностными характеристиками – в качестве несущей основы и электропроводящего покрытия с заранее заданными показателями электропроводности. Данный композит способен обеспечить как высокие прочностные показатели за счет бетона, так и придать дополнительные свойства за счет применения специализированного покрытия, не ухудшая прочностных характеристик.

На основе модификации связующих (полиуретановый лак, клей) углеродным наноматериалом и оптимизации рецептуры на ее основе построена эффективная стабильная система электропроводящих частиц углерода наноразмерного порядка на поверхности бетона. В итоге получен регулирующий механизм электропроводящей модификации. Исследование включает: подбор состава, оптимизацию процесса приготовления электропроводящего покрытия для бетона; механизм регулирования электропро-



водности материала для придания ему необходимых свойств; технология нанесения покрытия на бетонную поверхность; оценка электропроводности бетона и других свойств (влагостойкость, морозостойкость) полученного композита.

Новый материал позволяет улучшить характеристики шламозолобетона и придать ему заранее заданные показатели электропроводности, водонепроницаемость, морозостойкость. Разработана методика изготовления покрытия и механизм регулирования характеристик электропроводности. Совершенствуется методика нанесения покрытия на шламозолобетон.

Осадок является неизбежным продуктом очистки городских сточных вод. Из-за его высокой патогенности (колиформные бактерии, сальмонелла, дизентерийные бактерии, энтеровирус и т. д.) и различных токсичных тяжелых металлов (свинец, ртуть, кадмий, хром, мышьяк, цинк, медь, никель, цинк) он стал вторым по величине источником загрязнения твердых отходов после муниципальных отходов (Рис. 1). Сжигание осадка становится первым выбором для обработки осадка во всем мире (Рис. 2).



Рисунок 1. Осадок – неизбежный продукт очистки городских сточных вод



Рисунок 2. Осадок – второй по величине источник загрязнения твердых отходов

По сравнению с захоронением, компостированием и другими методами, сжигание показало большие преимущества в уменьшении объема шлама и удалении бактерий в шламе. Однако токсичные тяжелые металлы обогащаются в частицах

шламовой золы во время сжигания шлама (Рис. 3). Существует риск выщелачивания тяжелых металлов в окружающую среду при использовании ресурсов шламовой золы, в результате чего безопасная обработка шламовой золы становится всемирной проблемой (Рис. 4).



Рисунок 3. Захоронение, компостирование шлама



Рисунок 4. Сжигание наиболее эффективно в уменьшении объема шлама и удалении бактерий

Основными оксидами золы шлама, образующимися после сжигания шлама, являются CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Они такие же, как оксиды цемента и обладают определенной пуццолановой активностью. И цемент может затвердевать с тяжелыми металлами. Поэтому имеется большой потенциал для частичной замены цемента и снижения загрязнения окружающей среды, вызванного производством цементного клинкера.

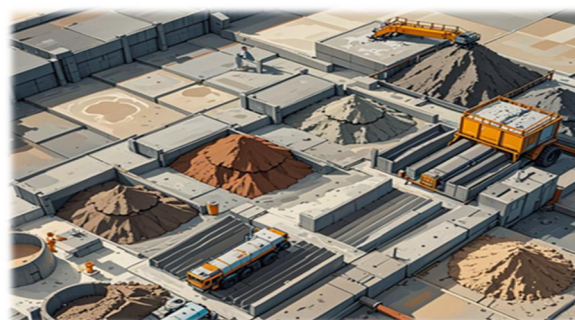


Рисунок 5. Сокращение выбросов CO_2 за счет утилизации шлама

Если весь шлам, образующийся каждый год в Китае, будет утилизирован в соответствии с коэффициентом сжигания 90 %, и только 5 % от объема смешивания будет использовано для замены цемента, ожидается, что выбросы CO₂ сократятся на 15,3 млн тонн в год (Рис. 5).

2. Экспериментальные исследования золошламобетона

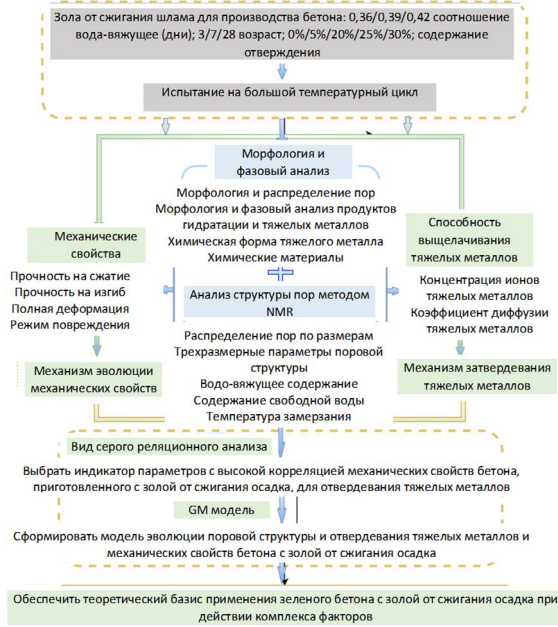


Рисунок 6. Теоретическая основа долговечности бетона, приготовленного из шлама под действием комплекса факторов

Испытание механических характеристик бетона с шламовой золой.

С увеличением количества циклов с большой разницей температур прочность на сжатие бетона с шламовой золой постепенно снижается. Это указывает на то, что цикл воздействия с разницей температур оказывает разрушительное воздействие на бетон с шламовой золой. При одинаковом времени цикла воздействия с разницей температур с увеличением содержания шлама прочность на сжатие бетона с шламовой золой сначала увеличивается, а затем уменьшается. При содержании 10 % прочность на сжатие достигает пикового значения, а содержание тяжелых металлов соответствует стандарту.

Эффект циркуляции разницы температур приводит к увеличению пористости бетона с шламовой золой. До цикла разницы температур образцы бетона представляют собой безвредные поры и менее вредные поры, составляющие более 80% от общего количества пор. С увеличением содержания шлама пиковое значение и площадь испытательного блока бетона сначала демонстрируют тенденцию к снижению, а затем к увеличению. 5% и 10% шламовой золы играют роль в улучшении пористой структуры бетона, что может сдерживать негативное влияние большого цикла разницы температур на размер пор.

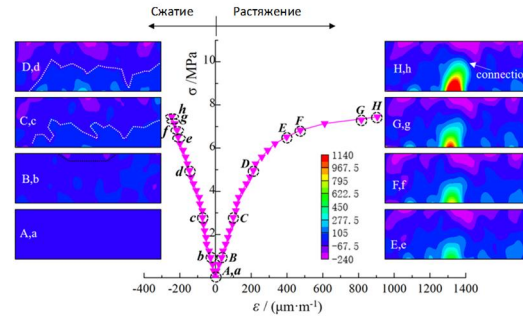


Рис. 7 Схема испытания механических свойств бетона на основе шламовой золы

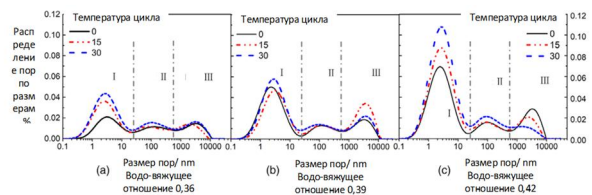


Рис. 8 Испытание на выщелачивание тяжелых металлов

Таблица 1. Прочность бетона в зависимости от содержания шламовой золы и количества температурных перепадов

циклы	прочность на сжатие (МПа)							
	Содержание шламовой золы	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
0	55.4	56.6	58.7	54.2	50	41	39	
15	52.2	52.01	54.4	51	46	37	36.4	
30	46.1	45.8	48.1	45	39	29	26	

Таблица 2. Пористость бетона в зависимости от содержания шламовой золы и температурных перепадов

циклы	пористость (%)							
	Содержание шламовой золы	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
0	1.0051	0,6337	0,6142	1,4787	1,8467	2,0009	2,0967	
15	1,2045	0,8635	0,728	1,5571	2,0946	2,5024	2,3492	
30	2,1023	1,5287	1,7763	2,813	3,2967	3,6742	3,747	



Выводы:

1. С увеличением количества циклов с большой разницей температур прочность на сжатие бетона с шламовой золой постепенно снижается. Это указывает на то, что цикл воздействия с разницей температур оказывает разрушительное воздействие на бетон с шламовой золой. С увеличением содержания шлама прочность на сжатие бетона с шламовой золой сначала увеличивается, а затем уменьшается. При содержании 10 % прочность на сжатие достигает пикового значения, а содержание тяжелых металлов соответствует стандарту.

2. Эффект циркуляции разницы температур приводит к увеличению пористости бетона с шламовой золой. С увеличением содержания шлама пиковое значение бетона сначала снижается, а затем увеличивается. 5% и 10% шламовой золы играют роль в улучшении пористой структуры бетона.

Библиографический список

1. Леонович, С.Н. Алгоритм расчета долговечности железобетонных конструкций при хлоридной агрессии / С.Н. Леонович - Брест: БрГТУ, 2001.

2. Леонович, С.Н. Дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в строительном материаловедении / Б.М. Хрусталёв, С.Н. Леонович, Б.А. Якимович [и др.] // Наука и техника. 2014. 54.

3. Леонович, С.Н. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Строительная наука и техника, 76-84 – 2009.

4. Leonovich, S.N. Complex method of strength estimation of the monolithic reinforced concrete structures / S.N. Leonovich, D.J. Snezkov // Concrete Structures-Stimulators of Development, Proceedings of the fib Symposium Dubrovnik – 2007.

5. Leonovich, S.N. Tensile strength of nanofibrous concrete / E.A. Sadovskaya, S.N. Leonovich, S.A. Zhdanok, E.N. Polonina // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 93. 1015-1019. 2020.

6. Леонович, С.Н. Мониторинг возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович - Минск: БНТУ, 2016.

7. Leonovich, S.N. Characterization of the influence of carbon nanomaterials on the mechanical behavior of cement stone / J. Eberhardsteiner, S. Zhdanok, B. Khroustalev, E. Bat-sianouski, S. Leonovich, P. Samtsou // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 84 (4), 2011.

8. Леонович, С.Н. Технология реконструкции зданий и сооружений / С.Н. Леонович, В.Ф. Зверев, Н.М. Голубев [и др.] - Минск: БНТУ, 2011.

9. Леонович, С.Н. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом контроля / С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков // Известия высших учебных заведений. Строительство, 108-115 – 2009.

10. Леонович, С.Н. Долговечность центрифугированных железобетонных стоек / С.Н. Леонович // Информ-энерго. 1991.

11. Leonovich, S.N. Cement-based materials modified with nanoscale additives / E.N. Polonina, S.N. Leonovich, B.M. Khroustalev, E.A. Sadovskaya, N.A. Budrevich // Наука и техника. 189-194. 2021.

12. Леонович, С.Н. Деградация железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии / Е.Е. Шальи, С.Н. Леонович, Л.В. Ким // Строительные материалы. 2019.

13. Леонович, С.Н. Физико-механические характеристики нанобетона / Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Е.А. Коледа // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья
УДК 691.322
ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_1_137

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦВЕТНОЙ ВИБРОПРЕССОВАННОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

© Автор 2025
SPIN: 6355-6652
ORCID: 0000-0001-7354-6360
ResearcherID: S-1931-2017
Scopus ID: 57209778837

МАКЕЕВ Алексей Иванович
кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный технический университет
(Россия, Воронеж, e-mail: amakeev@cchgeu.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются рецептурные факторы получения цветного мелкозернистого бетона для вибропрессованных изделий городского благоустройства на основе хвостов обогащения железистых кварцитов АО «Олкон» (Мурманская обл.), композиционного вяжущего и добавок пигментов. Дается характеристика использованных сырьевых материалов и методика изготовления и испытаний бетонной смеси и образцов бетона. Раскрывается принятая методология оптимизации состава бетонной смеси. Установлено, что максимальную плотность уплотненной бетонной смеси обеспечивает ее влажность 8 % при расходе цемента в количестве 25 % от массы сухих компонентов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния вида микронаполнителя (кварцевого песка и окварцованного доломита) и пигмента (оксида хрома, обожженного отвального шлака комбината "Североникель" и редоксайда) на кинетику процессов раннего структурообразования бетонной смеси и прочность бетона. Показано, что на основе строительно-технологической утилизации хвостов обогащения железистых кварцитов могут быть получены бетоны классом по прочности В40...В60 при расходе цемента 600 кг/м³ и ведении 200 кг/м³ тонко измельченного совместно с цементом наполнителя. Намечаются направления дальнейших исследований в проблеме строительно-технологической утилизации хвостов обогащения железистых кварцитов как компонента мелкозернистых бетонов.

Ключевые слова: отходы обогащения железных руд; мелкозернистый бетон; композиционный цемент; пигменты; оптимизация состава; процессы структурообразования; прочность при сжатии

Для цитирования: Макеев А.И. Использование хвостов обогащения железистых кварцитов в производстве цветной вибропрессованной тротуарной плитки // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 137-144. doi:10.51608/26867818_2025_1_137.

Original article

USE OF FERROUS QUARTZITE BENEFICIATION TAILINGS IN THE PRODUCTION OF COLOR VIBROPPRESSED PAVEMENT TILES

© The Author(s) 2025

MAKEEV Aleksey Ivanovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh State Technical University
(Russia, Voronezh, e-mail: amakeev@cchgeu.ru)

Abstract. The article considers the recipe factors for obtaining colored fine-grained concrete for vibration-pressed urban improvement products based on the beneficiated tailings of ferruginous quartzites of Olkon JSC (Murmansk region), composite binder and pigment additives. The characteristics of the raw materials used and the methodology for manufacturing and testing the concrete mix and concrete samples are given. The adopted methodology for optimizing the composition of the concrete mix is disclosed. It has been established that the maximum density of the compacted concrete mix is ensured by its moisture content of 8% with a cement consumption of 25% of the dry component weight. The article presents the results of experimental studies of the influence of the type of microfiller (quartz sand and silicified dolomite) and pigment (chromium oxide, burnt waste slag of the Severonikel plant and redoxide) on the kinetics of early structure formation processes in the concrete mix and the strength of concrete. It is shown that on the basis of construction and technological utilization of ferruginous quartzite beneficiation tailings, it is possible to obtain concretes of strength class B40...B60 with cement consumption of 600 kg/m³ and



introduction of 200 kg/m³ of finely ground filler together with cement. Directions for further research in the problem of construction and technological utilization of ferruginous quartzite beneficiation tailings as a component of fine-grained concretes are outlined.

Keywords: iron ore beneficiation waste; fine-grained concrete; composite cement; pigments; composition optimization; structure formation processes; compressive strength

For citation: Makeev A.I. Use of ferrous quartzite beneficiation tailings in the production of color vibropressed pavement tiles // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 137-144. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_137.

Введение. Мелкозернистый бетон при возведении сооружений применяется с середины XIX столетия. В 1861 году французский инженер Ф. Коанье опубликовал свою работу [1], в которой описал технологию изготовления мелкозернистого бетона прочностью 10-30 МПа с расходом вяжущего 170-200 кг/м³. Исследованиями в области технологии мелкозернистых бетонов занимались ведущие отечественные ученые Саталкин А.В., Баженов Ю.М., Иванов И.А., Федынин Н.И., Лещинский М.Ю., Попов Н.А., Мириев И.И., Павленко С.И. и многие другие [2]. Накопленный ими обширный экспериментальный материал позволяет утверждать, что повышенный на 10-25 % расход цемента (главный недостаток мелкозернистого бетона по сравнению с равнопрочными бетонами на крупном заполнителе) может быть преодолен за счет применения жестких смесей, заполнителей прерывистой гранулометрии, добавок-пластификаторов и виброуплотняющих воздействий с пригрузом [3]. При применении этих приемов использование мелкозернистого бетона в строительстве может дать большой технико-экономический эффект, так как 1 м³ мелкозернистого бетона стоит на 25-35 % дешевле обычного тяжелого бетона.

В современной строительной индустрии технология вибропрессования бетонных смесей наиболее широкое применение получила при изготовлении мелкогабаритной продукции для дорожного строительства и благоустройства городских территорий [4]. Современные технологические линии обеспечивают производство таких изделий, как тротуарная плитка и бортовой камень с высокими показателями прочности, плотности, водонепроницаемости и долговечности, однако существуют еще резервы расширения сырьевой базы в целях сокращения себестоимости продукции без снижения ее качества.

Перспективным источником дешевого сырья являются отвалы горнорудных предприятий. Установлено [5-7], что мелкозернистые бетоны на техногенных отходах этого вида по технико-экономическим критериям превосходят их аналоги на природных песках. Определенный интерес в этом отношении представляют отвальные хвосты обогащения железистых кварцитов АО «Олкон» Мурманской области, состоящие в основном из кварца и рудных минералов магнетита и гематита, которые находятся главным образом в сростках с кварцем и поэтому трудно

извлекаются при обогащении [8]. В результате по принятой на предприятии технологии обогащения на 1 т концентрата приходится 1.2 м³ отходов и АО «Олкон» ежегодно направляет в хвостохранилище более 4.7 млн м³ (6 млн т) хвостов. В результате за более чем 70-летний срок работы предприятия в хвостохранилище накоплено свыше 500 млн т отходов, занимающих площадь в 1100 га [9].

В свете сказанного актуальной становится задача строительно-технологической утилизации хвостов обогащения железистых кварцитов для формирования биосферно-совместимой благоприятной среды жизнедеятельности в Мурманском регионе за счет сокращения загрязнения окружающей среды и улучшения экологической обстановки в районе расположения горно-обогатительного предприятия.

Использованию хвостов обогащения железистых кварцитов в производстве мелкозернистого бетона посвящено большое число публикаций, в частности [9-12], тем не менее, их строительно-технологическая утилизация остается во многом еще не разработанной научно-прикладной проблемой.

В целях раскрытия структурообразующего потенциала хвостов обогащения железистых кварцитов при получении экономичных мелкозернистых бетонов высокого качества на данном этапе исследований была поставлена задача изучения влияния техногенных отходов, пигментов и микрозаполнителя на свойства цветной вибропрессованной тротуарной плитки.

Материалы и методы исследования. В качестве вяжущего при изготовлении опытных образцов мелкозернистого бетона и тротуарной плитки использовали портландцемент СЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Савинский цементный завод» с истинной плотностью 3.1 г/см³, насыпной плотностью 1220 кг/м³, удельной поверхностью 4000 см²/г. Химический состав портландцемента (по данным производителя) представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав компонентов бетонной смеси

Компонент	Массовое содержание оксидов, %					п.п.п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	
Цемент	22.65	4.96	3.27	63.35	2.12	нет
Хвосты обогащения	74.76	4.96	13.42	2.53	4.10	0.22
Песок кварцевый	69.16	12.73	5.20	3.85	2.01	0.72
Доломит	21.35	0.80	0.40	22.96	18.35	36.14



В качестве заполнителя мелкозернистой бетонной смеси использовались отходы хвостохранилища АО «Олкон» с содержанием недоизвлеченных железнорудных минералов 9 %, считая на Fe_2O_3 . По данным [8], хвосты слагают следующие минералы, %: магнетит – 4.0; гематит – 10.5; кварц – 34.1; полевой шпат – 13.1, амфиболы, пироксены – 30.6; биотит, флогопит, мусковит – 3.3; прочие минералы – 4.4. Химический состав заполнителя (табл. 1) показывает, что хвосты обогащения следует относить к кремнеземистым частицам. В специальной литературе [10] за хвостами закрепился термин «кварцевые отходы».

Гранулометрический состав заполнителя (рис. 1) оценивался рассевом на стандартном наборе сит. Средняя крупность зерна составляет $d_s = 0.15$ мм, размер более чем 95 % зерен хвостов не превышает 1 мм. Модуль крупности $M_k = 1.46$. Согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», хвосты обогащения относятся к группе очень мелких песков.

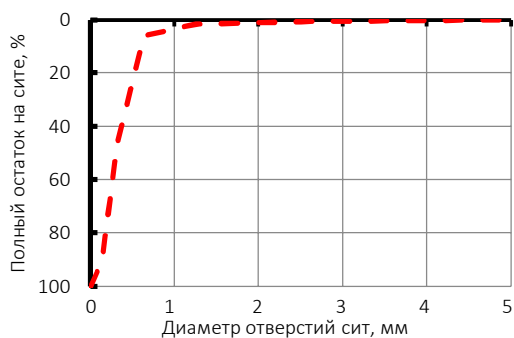


Рис. 1. Гранулометрический состав хвостов обогащения кварцита

Форма зерен неправильная, в крупных фракциях они имеют вид осколков, в мелких более изометричны. Поверхность зерен в результате дробления и присущего кварцу неровного излома «занозистая».

Истинная плотность зерен $\rho_z = 3.00$ г/см³, насыпная плотность $\rho_n = 1.52$ г/см³, межзерновая пустотность $P_{мз} = 49.3$ %.

Для изготовления микрозаполнителя в составе композиционного вяжущего применялся овражный песок Оленогорского карьера, химический состав которого представлен в табл. 1.

Помимо кварцевого песка, в качестве микрозаполнителя использовался также окварцованный доломит Печенгского месторождения, который представляет собой полностью перекристаллизованную метаморфическую породу, состоящую почти нацело из двух компонентов – доломита и кварца. По данным геологических изысканий [13], кварц составляет в среднем 19.8 % от массы породы, основная масса его рассеяна в доломите в виде зерен размером от 0.1 до 0.4 мм. Кроме основных компонен-

тов - карбоната и кварца - в породе присутствуют в виде незначительных примесей бесцветная слюда, хлорит, рудный минерал, полевые шпаты. Химический состав доломита представлен в табл. 1.

При выборе пигментов основным критерием принималась минимизация их расхода для получения изделий той или иной интенсивности окраски, что определяется красящей способностью пигмента. Также учитывалась его термостойкость в условиях тепловлажностной обработки.

В нашей работе использовались оксид хрома Cr_2O_3 (для изготовления тротуарной плитки зеленого цвета), обожженный отвальный шлак комбината "Североникель" (красно-коричневой) и редоксайд (красно-фиолетовой).

Оксид хрома TODA GX представляет собой твердый тонкодисперсный порошок оливкового оттенка зеленого цвета. Известен также как хромовая зелень. Насыпная плотность 0.8-1.2 г/см³, рН = 4.0-7.0, термостойкость 1250 °С, колор-индекс P.G. 17, содержание Cr_2O_3 не менее 99 %. Характеризуется высокой укрывистостью, устойчивостью к свету и действию агрессивных газов, атмосферостойкостью. Нерастворим в воде, почти не растворим в щелочах и разбавленных кислотах. Получают прокаливанием хромпика в восстановительной среде при температуре 800-900 °С.

Пигмент из шлака представляет собой аналог железного сурика - темный порошок коричнево-красного цвета, полученный измельчением, а затем обжигом при температуре 850 °С в течении 60 минут отвального железистого шлака комбината "Североникель". Содержание оксида железа в приготовленном таким образом пигменте составляет 50-55 %.

Редоксайд (ТУ 6-10-667—74) представляет собой тонкодисперсный порошок красного цвета с фиолетовым оттенком, состоящий из оксида железа. Обладает высокой укрывистостью – 6 г/м², повышенной стойкостью в щелочных средах, свето- и атмосферостойкостью. Остаток после мокрого просеивания на сите №0063 не более 1 %.

В качестве добавки-пластификатора, обеспечивающей повышение подвижности бетонной смеси и плотности цементно-песчаного бетона, а также предотвращение налипания бетонной смеси на стенки пресс-форм, использовался нафталинсульфонатный суперпластификатор «Полипласт СП-1 (Са)» производства ГК «Полипласт» по ТУ 5870-005-58042865-05. Добавка представляет собой водный раствор темно-коричневого цвета плотностью 1.15 г/см³ при 20 °С и рН = 6.5-9. В соответствии с рекомендациями производителя, расход суперпластификатора был принят в количестве 0.1 % от массы «чистого» цемента.

Состав бетонной смеси подбирался по методу достижения наибольшего уплотнения сухих цементно-песчаных смесей [14] с последующим опре-



делением оптимального их водосодержания. Смеси заданного состава перемешивались в лабораторном смесителе ЛС-ЦБ-10 по режиму: сухие компоненты в течение 1 мин, затем еще 3 мин с водой и растворенной в ней добавкой.

Процессы структурообразования бетонной смеси в начальные сроки твердения характеризовались кинетикой нарастания ее пластической прочности $P_m(\tau)$ с помощью конического пластометра. Для определения P_m цементно-песчаные смеси уплотнялись в чашечках на виброплощадке с частотой 3000 кол/мин, амплитудой 0.7 мм и с пригрузом 100 г/см². Конический индентор внедрялся в испытываемую среду вертикальной силой F , Н, до достижения равновесия под действием этой силы и сил внутреннего сопротивления среды. Глубина погружения конуса h , мм, отсчитывалась с помощью индикатора с ценой деления 0.01 мм. За значение P_m , МПа, принималось предельное напряжение сдвига смеси в данный момент времени от ее затворения водой, рассчитанное по формуле П.А. Ребиндера:

$$P_m = K \frac{F}{h^2} \quad (1)$$

где K - константа, зависящая от угла при вершине конуса. По данным М.П. Волярович и М.Н. Агранат [15], для конуса с углом при вершине 30° $K = 0,959$.

Измерения проводились до достижения нагрузки 50...55 Н при погружении конуса на глубину 5 мм. Это время принималось как окончание периода раннего структурообразования бетонной смеси τ_k . Скорость процесса структурообразования в периоде упрочнения структур характеризовалось производной $dP_m/d\tau$, МПа/ч.

Для исследования структуры и свойств бетона изготавливались образцы-кубы 7×7×7 см. Формование образцов производилось на виброплощадке с частотой колебаний 3000 мин⁻¹ и амплитудой 0.5 мм в форме с подрессоренным пригрузом для получения удельного давления на смесь 0.1 кг/см². Продолжительность уплотнения сухой цементно-песчаной смеси составляла 1.5 мин, а бетонной смеси (с водой) – 1 мин.

Степень (коэффициент) уплотнения свежесформованных смесей определялась по отношению фактической плотности цементно-песчаных смесей к их теоретической плотности, рассчитанной при условии отсутствия воздуха в уплотненной смеси.

Через сутки после изготовления формы распалубливались, и образцы оставались на хранение в нормальных условиях при температуре 15 – 20 °С и относительной влажности воздуха около 90 %. По истечении заданного срока твердения образцы подвергались испытаниям на сжатие с помощью гидравлического пресса ПСУ-10.

Истинная ρ , кг/м³, и средняя ρ_m , кг/м³, плотность бетона и его пористость P , отн. ед., определялись стандартными методами по ГОСТ 12730.1—

2020 «Бетоны. Методы определения плотности». Величина удельной поверхности капиллярных пор затвердевшего бетона $S_{кп}$, м²/г, оценивалась методом низкотемпературной адсорбции азота [16]. Средний диаметр пор d_n , мкм, рассчитывали по формуле:

$$d_n = \frac{4\Pi}{S_{кп} \cdot \rho_m} \quad (2)$$

Кинетику процессов структурообразования бетона в поздние сроки оценивали по прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, бетона в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток твердения в нормальных условиях. Помимо абсолютных значений прочности, рассчитывалась также величина удельной прочности $R_{уд}$, МПа/кгЦ - отношение прочности бетона на 28 суток к расходу цемента на 1 м³ бетона.

Результаты исследования и их обсуждение.

На первом этапе исследований осуществляли поиск оптимального соотношения цемент: заполнитель (хвосты обогащения) по критерию максимальной плотности упаковки смеси дисперсных частиц этих компонентов в сухом состоянии. Согласно положениям системно-структурного подхода [17], это условие обеспечит в последующем формирование структуры бетона с пленочным типом цементации, при котором все межзерновое пространство заполнителя заполнено цементным камнем в пленочном состоянии. Такой тип структуры обладает повышенной энергоемкостью процессов разрушения, что выражается максимальным показателем удельной прочности $R_{уд}$.

Установлено, что при введении цемента в заполнитель до 20-25 % по массе коэффициент уплотнения дисперсной системы увеличивается с 0.63 до 0.73, а дальнейшее увеличение содержания цемента приводит к разуплотнению системы (рис. 2). В качестве оптимального соотношения было принято 25 % цемента от массы сухих компонентов.

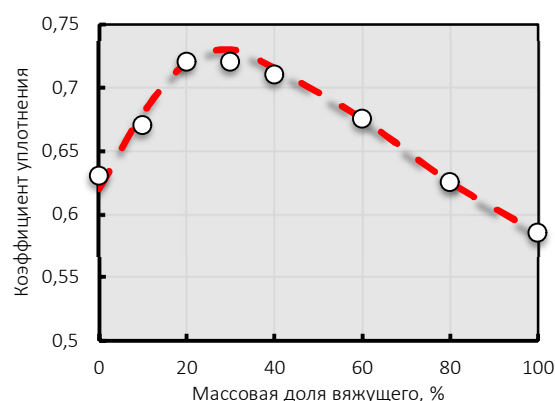


Рис. 2. Зависимость плотности упаковки сухой цементно-песчаной смеси от расхода вяжущего

На следующем этапе подбора состава ставилась задача определения оптимальных по критерию уплотняемости дозировок воды в бетонной смеси.

Вода с добавкой «Полипласт СП-1 (Са)» в количестве 0,1 % от массы цемента вводилась в установленные ранее оптимальные сухие смеси с оценкой коэффициента уплотнения.

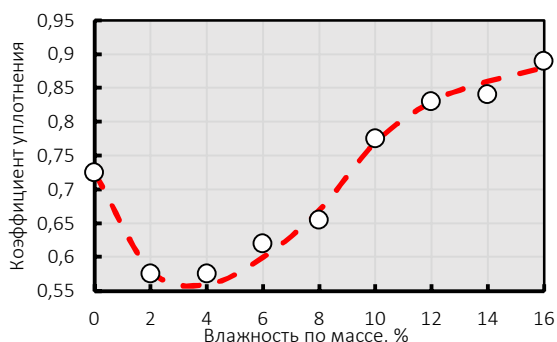


Рис. 3. Зависимость коэффициента уплотнения бетонной смеси от ее влажности

Как следует из рис. 3, при увлажнении смеси до 2-4 % происходит ее разуплотнение из-за расклинивающего эффекта, который оказывает вода, находящаяся при таком количестве в пленочном состоянии и препятствующая непосредственному контакту твердых частиц между собой [18].

С увеличением расхода воды расклинивающий эффект ослабевает из-за ее перехода в объемно-капиллярное состояние, а при влажности 9-10 % коэффициент уплотнения дисперсной системы оказывается выше безводной за счет действия капиллярных стягивающих сил, способствующих самоуплотнению системы. При дальнейшем увлажнении свыше 16 % капиллярный эффект исчезает из-за «выключения» сил поверхностного натяжения на границе жидкость—газ в результате полного оводнения системы.

Практика показывает [19], что для получения высококачественных вибропрессованных бетонов оптимальной является влажность 5...6 %. Однако из-за повышенной водопотребности заполнителя, относящегося к группе очень мелких песков (см. рис. 1), для обеспечения максимальной степени уплотнения бетонной смеси расход воды был принят в количестве 8-9 % по массе.

Составы мелкозернистых бетонных смесей, назначенные на основании полученных данных для исследований свойств мелкозернистого бетона на хвостах обогащения кварцитов, приведены в табл. 2 (серия 1). Известно, что модификация структуры мелкозернистого бетона тонкодисперсными добавками позволяет улучшить его физико-технические свойства [20,21]. В этой связи было принято решение о замене части заполнителя на микрозаполнитель, вводимый в составе композиционного вяжущего, получаемого совместным помолом цемента и кварцевого песка (серии 2-5) или доломита (серии 6-7) в со-

отношении 3:1 до удельной поверхности 5000-5200 см²/г.

Таблица 2. Состав и характеристика исследованных бетонных смесей

Серия	Вид наполнителя	Вид пигмента	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг				В/Ц	В/В	K _{упл}	
			Вяжущее		Заполнитель	Пигмент				
			Цемент	Микрозаполнитель						
1	нет	нет	600	0	1790	0	208	0.35	0.35	0.92
2	кварц. песок	нет	600	200	1600	0	200	0.33	0.25	0.93
3	кварц. песок	оксид хрома	600	200	1480	60	240	0.40	0.30	0.96
4	кварц. песок	редоксайд	600	200	1480	60	240	0.40	0.30	0.95
5	кварц. песок	шлак	600	200	1304	176	240	0.40	0.30	0.96
6	доломит	нет	600	200	1480	0	240	0.40	0.30	0.96
7	доломит	шлак	600	200	1304	176	240	0.40	0.30	0.97

Примечание: Содержание в цементно-песчаном бетоне добавки «Полипласт СП-1 (Са)» составляет 0.1% от массы цемента.

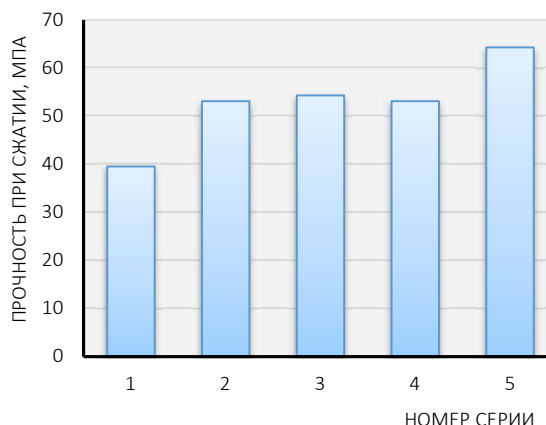


Рис. 4 – Прочность при сжатии мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем цемент : кварцевый песок: 1 – без наполнителя; 2 – без пигмента; 3 – оксид хрома; 4 – редоксайд; 5 – шлак

Установлено (рис. 4), что использование композиционного вяжущего на кварцевом песке обеспечивает повышение прочности бетона на 34 % (с 40 до 53 МПа) при том же расходе «чистого» цемента 600 кг/м³ бетона (серии 1 и 2, табл. 2). Обнаруженный эффект может быть связан с повышением активности цемента в процессе его помола с начальной S_{уд} = 4000 см²/г до S_{уд} = 5000 – 5200 см²/г при изготовлении композиционного вяжущего из-за появления «свежих» поверхностей зёрен клинкерной части. Можно также предположить, что свой вклад в повышение прочности цементного камня и бетона в це-



лом вносят тонкодисперсные реакционно-активные кремнеземистые частицы молотого песка, взаимодействующие с продуктом гидратации клинкерных минералов портландцемента - гидроксидом кальция с образованием малорастворимых гидросиликатов кальция.

Введение в бетонную смесь оксида хрома и редоксайда с высокой удельной поверхностью (8000-10000 см²/г) повышает коэффициент уплотнения бетона до 0.951-0.956 и несколько ускоряет процессы раннего структурообразования, что отражается кривыми нарастания пластической прочности бетонной смеси без пигмента и с добавками пигментов (рис. 5). При этом соответственно сокращаются периоды формирования структуры (τ_k) и возрастают величины критической пластической прочности P_{mk} (табл. 3).

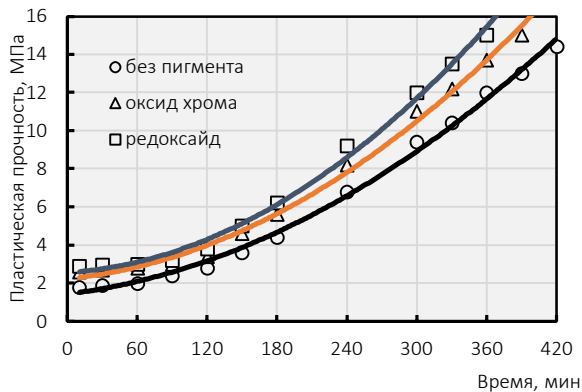


Рис. 5. Влияние пигментов на кинетику процессов раннего структурообразования мелкозернистых бетонных смесей

Интенсификация процесса структурообразования на ранних сроках формирования и упрочнения структуры предопределяет структурообразующую роль этих пигментов в затвердевшем бетоне. В частности, введение добавок пигментов (оксида хрома и редоксайда) приводит к увеличению общей пористости P на 8.5 и 7.9 % (табл. 3), удельной поверхности пор $S_{кп}$ на 14.6 и 37.5 % при соответствующем уменьшении их среднего диаметра d_n от 0.284 до 0.223 мкм (на 5.6 и 21.1 %).

Таблица 3. Характеристика процессов раннего структурообразования и параметры структуры окрашенного мелкозернистого бетона

Серия	Пигмент	τ_k , мин	R_m , МПа	dP_m/dt , МПа/ч	ρ , г/см ³	ρ_m , кг/м ³	P , %	$S_{кп}$, м ² /г	d_n , мкм	$R_{уд}$
2	нет	170	4,0	0,84	2,90	2420	16,5	0,96	0,284	0,09
3	оксид хрома	160	4,7	0,87	3,00	2460	17,9	1,10	0,268	0,09
4	редоксайд	155	5,0	0,98	2,98	2450	17,8	1,32	0,224	0,88

При этом введение добавок редоксайда и оксида хрома практически не оказывает влияния на прочность бетона на 28-е сутки, которая остается на уровне 53.0-54.2 МПа (рис. 4, серии 3 и 4). Соответственно, удельная прочность окрашенного такими пигментами бетона составила 0,09 МПа/кгЦ, что ниже достигнутого на сегодня среднего уровня 0,11-0,13 МПа/кгЦ в производстве изделий из вибропресованного мелкозернистого бетона [22].

В этом отношении наиболее эффективной красящей добавкой (с получением красновато-сиреневого цвета) оказался тонкомолотый обожженный шлак комбината «Североникель» (рис. 4, серия 5). Введение его в состав бетонной смеси повысило прочность бетона на сжатие до 64.2 МПа – на 21 % по сравнению с неокрашенным бетоном на композиционном вяжущем и на 63 % по сравнению с неокрашенным бетоном на «чистом» цементе. Удельная прочность бетона такого состава $R_{уд} = 0.11$ МПа/кгЦ находится уже на нижней границе приведенного выше диапазона.

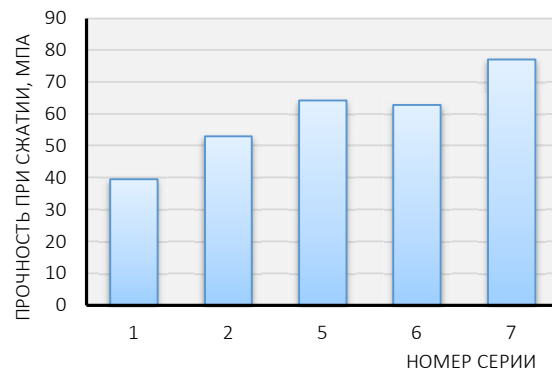


Рис. 6. Прочность при сжатии мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем с различными наполнителями и молотым шлаком в качестве пигмента:
1 – без наполнителя; 2 – кварц. песок без пигмента; 5 – кварц. песок + пигмент; 6 – доломит без пигмента; 7 – доломит + пигмент

Значительно повысить абсолютную и удельную прочность бетона позволила замена кварцевого песка в качестве микрозаполнителя на доломит (рис. 6). Абсолютная прочность бетона при этом выросла на 59 % по сравнению с бетоном на «чистом» цементе и на 19 % по сравнению с бетоном на кварцевом микрозаполнителе (рис. 6, серия 6).

При этом совместное введение тонкомолотых добавок обожженного шлака и доломита Печенгского месторождения (в составе композиционного вяжущего) повышает прочность бетона при сжатии до 77.2 МПа (рис. 6, серия 7), что на 20 % выше, чем аналогичный состав на кварцевом песке. Удельная прочность, то есть эффективность использования цемента, в этом случае возрастает до 0.13 МПа/кг цемента, что соответствует лучшим на сегодня показателям.



телям в индустрии вибропрессованных изделий для благоустройства городских территорий.

Заключение. Экспериментальные исследования возможностей получения цветного мелкозернистого бетона для вибропрессованных изделий городского благоустройства на основе хвостов обогащения железистых кварцитов АО «Олкон» в качестве заполнителя, композиционного вяжущего и добавок пигментов показали возможность и экономическую целесообразность строительного-технологического утилизации этой разновидности многотоннажного техногенного сырья. На основе хвостов могут быть получены цементно-песчаные бетоны классом по прочности В40...В60 при расходе тонкомолотого цемента 600 кг/м^3 и ведении 200 кг/м^3 тонко измельченного совместно с цементом кварцевого песка или доломита. При этом оказалось, что доломит в этом плане эффективнее молотого кварцевого песка.

При изготовлении цветных мелкозернистых бетонов на основе хвостов обогащения железистых кварцитов АО «Олкон» в цементно-песчаную смесь необходимо вводить до 10 % минеральных пигментов от массы цемента. Обнаружено, что введение обожженного шлака в качестве пигмента влияет не только на цвет бетона, но и позволяет повысить его прочность.

Для объяснения полученных эффектов на основе структурного подхода необходимо проведение химического, минералогического и микроскопического анализа микро- и макроструктуры полученного материала [23]. Это является обязательным условием разработок по максимальной реализации структурообразующего потенциала техногенных отходов в системах твердения с учетом механических, механо-химических и физико-химических явлений.

Предполагается, что принятая частота 3000 кол/мин далека от резонансной частоты частиц высокой дисперсности и не способна разрушать очень прочные коагуляционные структуры, образованные тонкодисперсными фракциями кварцевых железистых отходов, молотых микрозаполнителей и пигментов. Для получения плотного цементно-песчаного бетона на высокодисперсных компонентах необходимо применять более высокую частоту колебаний.

Помимо этого, в направлении дальнейших исследований планируется изучение возможности использования хвостов обогащения железистых кварцитов в качестве не только заполнителя, но и микрозаполнителя мелкозернистого бетона.

Библиографический список

1. Coignet, F. Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire / F. Coignet. - Paris: E. Lacroix, 1861. - 378 p.
2. Шоева, Т.Е. Мелкозернистый бетон на основе МАВС из природного и техногенного сырья Тывы / Т.Е. Шо-

ева, В.С. Баяев, Ю.Д. Каминский // Строительные материалы, 2011. - № 9. - С. 36-38.

3. Баженов, Ю.М. Технология бетона : учебник для студентов вузов, обучающихся по строительным специальностям / Ю.М. Баженов. - М.: АСВ, 2007. - 526 с.

4. Романенко, И.И. Оценка качества тротуарной плитки на основе портландцемента, выпускаемой по технологии вибропрессования / И.И. Романенко, А.И. Фадин, И.Н. Петровнина // Инженерный вестник Дона, 2020. - № 2. - С. 31.

5. Лесовик, Р.В. К выбору техногенных песков для получения композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов / Р.В. Лесовик // Технологии бетонов, 2015. - № 1-2. - С. 60-63.

6. New insights into the contribution of quartz powder byproduct from manufactured sand to the performance of cementitious materials / J. Long [et al.] // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2023. Vol. 148. No. 10. P. 4105-4117.

7. Макеев, А. И. Отсевы дробления гранита как компонентный фактор формирования структуры бетона. Часть II. Экспериментальные исследования структурообразующего потенциала / А.И. Макеев // Строительные материалы, 2024. - № 1-2. - С. 59-66.

8. Хогуля, М.С. Переработка отходов обогащения ОАО "Олкон" / М.С. Хогуля, А.Ш. Гершенкоп // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. – Архангельск: Институт экологических проблем Севера Архангельского НЦ УрО РАН, 2010. – С. 97-100.

9. Перспективы развития минеральной базы Кольского региона и производства местных строительных материалов / О. Н. Крашенинников, Н.Н. Гришин, А.М. Калинин, С.Ю. Буряченко // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2014. – № 5. – С. 39а-43.

10. Брянцева, Н.Ф. Отходы обогащения / Н.Ф. Брянцева, О.Н. Крашенинников, Р.Н. Сухорукова // Строительные и технические материалы из минерального сырья Кольского п-ова. Ч. 1. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. - С. 170-182.

11. Ермолович, Е. А. Утилизация отходов обогащения железистых кварцитов в мелкозернистой бетонной смеси для тротуарной плитки / Е. А. Ермолович // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 8. – С. 23-25.

12. Макеев, А.И. Отходы обогащения железистых кварцитов как структурный компонент мелкозернистого бетона / А.И. Макеев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. - 2024. – № 3. – С. 63-73

13. Редкие и редкоземельные элементы руд Печенгского района / К. В. Лобанов, А.В. Григорьева, А. В. Водное и др. // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 3. — С. 406—421.

14. Вопросы оптимизации зернового состава мелкозернистых бетонов / П.В. Куляев, Р.З. Цыбина, В.В. Белов, Т.Р. Баркая // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2023 : Сб. докл. IV Национальной науч. конф. – М.: НИУ МГСУ, 2024. – С. 199-203.

15. Воларович, М.П. Исследование реологических свойств дисперсных систем (Доклад, прочитанный на со-



вещании по теории упругости, пластичности и реологии в Польской академии наук 27.08.1953) // Коллоидный журнал. - 1954. Т. 16. - № 3. - С. 237-240.

16. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. - М.: Мир, 1984. - 306 с.

17. Чернышов, Е. М. О проблеме управления рецептурно-технологическими факторами получения бетонов в задачах конструирования и синтеза оптимальных их структур / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Academia. Архитектура и строительство. - 2018. - № 3. - С. 135-143.

18. Шमितько, Е.И. Процессы пресс-формования и их влияние на качество кирпича-сырца / Е.И. Шमितько, Н.А. Верлина // Строительные материалы. - 2015. - № 10. - С. 5-7.

19. Усачев, С. М. Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов : монография / С. М. Усачев, В. Т. Перцев ; Воронежский гос. архитектурно-строительный ун-т. - Воронеж : ВГАСУ, 2007. - 142 с.

20. Баженов, Ю. М. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой / Ю. М. Баженов, Н. П. Лукутцова, Е. Г. Карпиков // Вестник МГСУ. - 2013. - № 2. - С. 94-100.

21. Макеев, А. И. Пылевидная фракция отсевов дробления гранита как носитель микронаночастиц, участвующих в структурообразовании цементных бетонов / А. И. Макеев, Е. М. Чернышов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. - 2018. - Т. 10, № 4. - С. 20-38.

22. Чернышов, Е.М. Базовые положения механики проявления конструкционных свойств конгломератных строительных композитов. Часть 2. Обзор результатов прикладных исследований по проблеме конструирования и синтеза структур современных высокотехнологичных бетонов / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких, А.И. Макеев // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2020. - № 9. - С. 48-57.

23. Чернышов, Е. М. Проблема комплексности и системности качественного описания и статистической достоверности количественной оценки характеристик структуры строительных композитов / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Эксперт: теория и практика. - 2022. - № 2(17). - С. 75-80.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 18.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 18.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 691.328.4

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_1_145

АРМИРОВАНИЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

© Авторы 2025
SPIN: 5846-8217

МЕРКУЛОВ Сергей Иванович
доктор технических наук, профессор
Курский государственный университет
(Россия, Курск, e-mail: pgs@kursrsu.ru)

SPIN: 7603-2590

ЕСИПОВ Станислав Максимович
кандидат технических наук, доцент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Россия, Белгород, e-mail: sk31.sm@gmail.com)

Аннотация. *Постановка задачи.* Основной задачей, решаемой на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений, является обеспечение надежности в заданных условиях и режимах эксплуатации. Повышение долговечности железобетонных конструкций решается применением неметаллической композитной арматуры. Композитная арматура эффективно применяется при изготовлении сборного и монолитного железобетона, а также при усилении эксплуатируемых железобетонных конструкций. Развитие теории проектирования данного класса конструкций предполагает проведение экспериментально-теоретических исследований. Цель работы заключается в исследовании изгибаемых железобетонных элементов, в т.ч. с кручением, усиленных внешним армированием и бетонных элементов со стержневой композитной арматурой, изучение совместной работы композитных материалов с бетоном в составе конструкции. *Задачи исследования:* исследования прочности и деформативности бетонных конструкций с армированием композитной полимерной арматурой и железобетонных конструкций, усиленных внешним армированием; оценка сцепления внешнего композитного армирования с поверхностью бетонных конструкций. *Результаты.* Приведены результаты экспериментальных исследований изгибаемых и изгибаемых с кручением усиленных железобетонных элементов при кратковременном и длительном нагружении, так же результаты исследований изгибаемых бетонных элементов со стержневой арматурой. *Выводы.* Значимость результатов состоит в том, что полученные новые экспериментальные данные позволят усовершенствовать методику проектирования конструкций с композитной арматурой

Ключевые слова: бетонные конструкции; железобетонные конструкции; усиление; композитная арматура; сцепление; отгибы арматуры

Для цитирования: Меркулов С.И., Есипов С.М. Армирование бетонных и железобетонных конструкций композитными материалами // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 145-149. doi:10.51608/26867818_2025_1_145.

Original article

ADDITIONAL REINFORCEMENT OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS

© The Author(s) 2025

MERKULOV Sergey Ivanovich
Dr. of Technical, Prof.
Kursk State University
(Russia, Kursk, e-mail: pgs@kursrsu.ru)

ESIPOV Stanislav Maksimovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Belgorod State Technological University. Shukhov
(Russia, Belgorod, e-mail: sk31.sm@gmail.com)



Abstract. *Setting the task.* The main task to be solved at all stages of the life cycle of buildings and structures is to ensure reliability under specified conditions and operating modes. Increasing the durability of reinforced concrete structures is solved by using non-metallic composite reinforcement. Composite reinforcement is effectively used in the manufacture of precast and monolithic reinforced concrete, as well as in the reinforcement of exploited reinforced concrete structures. The development of the design theory of this class of structures involves experimental and theoretical research. The purpose of the work is to study bent reinforced concrete elements, including those with torsion, reinforced with external reinforcement and concrete elements with rod composite reinforcement, to study the joint work of composite materials with concrete as part of the structure. Research objectives: to study the strength and deformability of concrete structures reinforced with composite polymer reinforcement and reinforced concrete structures reinforced with external reinforcement; to assess the adhesion of external composite reinforcement to the surface of concrete structures; to develop proposals for the normalization of the mechanical characteristics of composite reinforcement. *Results.* The results of experimental studies of bent and torsion-bent reinforced concrete elements under short-term and long-term loading are presented, as well as the results of studies of bent concrete elements with rod reinforcement. *Conclusions.* The significance of the results lies in the fact that the new experimental data obtained will allow us to improve the methodology for designing structures with composite reinforcement.

Keywords: concrete structures; reinforced concrete structures; reinforcement; composite reinforcement; coupling; rebar bends

For citation: Merkulov S.I., Esipov S.M. Reinforcement of concrete and reinforced concrete structures with composite materials // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 145-149. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_145.

1. Введение

Применение композитной арматуры позволяет обеспечить коррозионную безопасность бетонных конструкций зданий и сооружений с агрессивными условиями эксплуатации, а также эффективно усилить поврежденные конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений. В настоящее время выполняются исследования прочности конструкций с композитной арматурой при различных напряженных состояниях и режимах нагружения [1-2] и исследования деформативности [3-4], исследования конструкций с армированием разными видами композитной арматуры [5-6]. Так же выполняются исследования сцепления стержней композитной арматуры с бетоном [7], огнестойкости бетонных конструкций с композитной арматурой [8]. Стержневая композитная арматура используется в конструкциях совместно с металлической арматурой, особенно в изгибаемых элементах, где поперечная стальная арматура применяется вместе с продольными стержнями композитной арматуры. В настоящее время отсутствуют исследования, посвященные прочности наклонных сечений изгибаемых конструкций, армированных композитной стержневой арматурой в опорных участках.

Композитные материалы широко применяются для усиления железобетонных конструкций, особенно путём наклеивания тканевых композитов на их поверхность. Разработаны рекомендации по проектированию усиления таких конструкций с использованием композитных материалов [10-13].

Целью работы является изучение совместной работы композитных материалов с бетоном в составе конструкции.

Объектом исследований являются бетонные изгибаемые элементы со стержневой композитной арматурой, железобетонные изгибаемые элементы с внешним армированием тканым композитным

материалом, железобетонные изгибаемые с кручением элементы с внешним армированием тканым композитным материалом.

Предмет исследований – прочность изгибаемых элементов со стержневой композитной арматурой, прочность железобетонных изгибаемых элементов с внешним армированием тканым композитным материалом, прочность железобетонных изгибаемых с кручением элементов с внешним армированием тканым композитным материалом.

Задачами исследования являются:

- оценка напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов с отгибами композитной стержневой арматурой на оппорных участках;
- экспериментальные исследования сопротивления и особенностей работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой внешним армированием тканым композитным материалом, в т.ч. при изгибе с кручением.

2. Материалы и методы

В Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова выполнены экспериментальные исследования бетонных изгибаемых балок с отгибами стержневой композитной арматуры на опорных участках. Для экспериментальных исследований разработаны методика и конструкция образцов [14].

Основными целями испытаний были: получение новых экспериментальных данных о прочности и трещиностойкости изгибаемых балок, изучение особенностей взаимодействия отгибов стержневой композитной арматуры и бетона в наклонных сечениях, а также анализ механизма разрушения изгибаемых балок по наклонному сечению.

Размеры опытных образцов составили 125x250x1800 мм. Материалы образцов: бетон



класса В25, арматура базальтопластиковая с песчаным покрытием производства ROCKBAR ООО «Гален» диаметром 8 мм, прочность арматуры 1260 МПа.

эффективное взаимодействие между элементами усиления и усиливаемой конструкцией. Усиленная железобетонная конструкция представляет собой сложную систему, в которой упругий элемент уси-

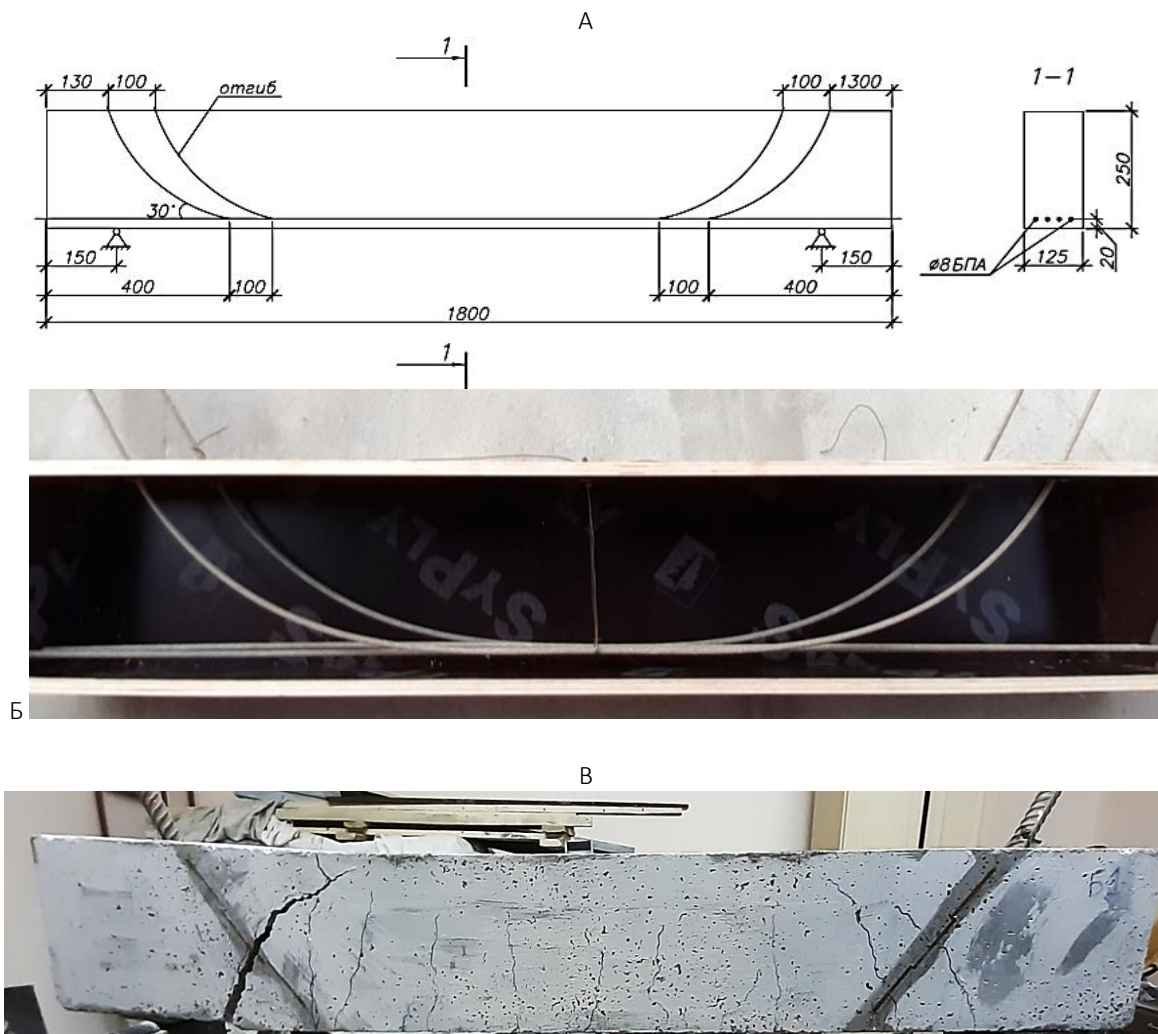


Рис 1. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с армированием стержневой базальтопластиковой арматурой; а – схема армирования, б – опалубка для изготовления образцов, в – схема разрушения образца

Два стержня продольной арматуры расположены прямолинейно по всей длине балки, а оставшиеся два в четвертях пролета переводились из нижней зоны в пролете к верхней грани на опоре с выходом через верхнюю часть балки, величину загиба стержневой составляла $20d$. Расположение отгибов стержневой композитной арматуры выполнялось максимально близко к траектории главных растягивающих напряжений. Особенностью конструктивного решения экспериментальных балок являлось отсутствие поперечного армирования по всей длине (рис. 1а, б).

Авторы провели испытания изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наклеиванием однонаправленной углеволоконной ткани на растянутую грань. Система внешнего армирования железобетонных конструкций должна обеспечивать эф-

фективное взаимодействие между элементами усиления и усиливаемой конструкцией. Усиленная железобетонная конструкция представляет собой сложную систему, в которой упругий элемент уси-

Испытывали железобетонные балки сечением 100×150 мм, пролетом 1200 мм, бетон В20 и рабочая арматура $2\varnothing 8$ А400. Балки усилены наклейкой ткани в один слой на растянутую грань изгибаемых элементов (тип 1), наклейкой ткани в один слой на растянутую грань изгибаемых элементов с устройством на торцах балок хомуты шириной 120 мм из композитного материала (тип 2-4).

Характеристики углеволоконной ткани, примененной для усиления железобетонных балок: для сухого волокна прочность на растяжение 1911 МПа, модуль упругости 101000 МПа, для пропитанного полимером волокна 2940 МПа и 279000 МПа соответ-



ственно. Прочностные характеристики бетона составили $R_b=11.65$ МПа, $R_{bt}=0.9$ МПа.

3. Результаты и обсуждение

В результате испытаний изгибаемых бетонных балок с продольной стержневой композитной арматурой с отгибами композитной арматуры на приопорных участках установлено:

- разрушающая нагрузка для опытных образцов составила $N_u = 63,0$ кН;
- нагрузка образования нормальных трещин составила 18,0 кН, наклонных трещин – 27,0 кН;
- ширина раскрытия наклонных трещин при нагрузке 0,1 от разрушающей нагрузки составила 0,01 мм; при нагрузке 0,3 - 0,04 мм; при нагрузке 0,5 - 0,06 мм.

Результатом проведённых экспериментальных исследований стала оценка сцепления отгибов стержней композитной арматуры с бетоном в зоне действия поперечных сил. Установлено, что деформации смещения стержней композитной арматуры относительно бетона отсутствуют, и анкерные устройства на отгибах не использовались. Разрушение образцов произошло по наклонному сечению с разрывом отогнутого композитного стержня (рис. 1в).

При испытании усиленных конструкций был выявлен характер разрушения. Все опытные образцы разрушались с отрывом внешнего композитного элемента от бетона, без дробления бетона в сжатой зоне, при этом в балках образовывались нормальные трещины. Отрыв композитной полосы происходил с отслоением элемента внешнего армирования или с разрушением бетона вблизи клеевого шва на глубину в среднем 8-12 мм (рис.2).

ление железобетонной балки при уровне действующей нагрузки 0,5 эффект усиления снижается и составляет 1,3, а при уровне действующей нагрузки 0,7 – повышение несущей способности составляет 1,2.

При усилении железобетонных балок под нагрузкой при наличии нормальных трещин в бетоне растянутой зоны снижается эффект усиления внешним армированием композитным материалом. В момент разрушения опытных балок усилие в композитном элементе составило 0,5...0,6 от разрушающего значения, полученного при испытании углеволоконной ткани на растяжение. Усиление железобетонных балок, не имеющих трещин в бетоне растянутой зоны, повышает вдвое их трещиностойкость.

4. Заключение

В результате экспериментальных исследований была подтверждена работоспособность конструктивного решения изгибаемых бетонных элементов с использованием композитных стержней в качестве продольной и поперечной арматуры. Это решение обеспечивает абсолютную коррозионную безопасность конструкций при эксплуатации в агрессивных средах.

Испытания изгибаемых железобетонных элементов, усиленных внешним армированием из тканого композитного материала, выявили характер разрушения. Все опытные образцы разрушались с отрывом внешнего композитного элемента от бетона, без дробления бетона в сжатой зоне, при этом в балках образовывались нормальные трещины. Отрыв композитной полосы происходил с отслоением элемента внешнего армирования или с разрушением бетона вблизи клеевого шва на глубину 8–12



Рис. 2. Разрушение опытного образца с отслоением элемента внешнего армирования и с разрушением бетона вблизи клеевого шва

Усиление железобетонных изгибаемых балок внешним армированием углеволоконной тканью без устройства анкеров позволяет увеличить несущую способность до 1,4 раза, с устройством анкеров – до 1,6 раза. Усиление изгибаемых балок, находящихся под нагрузкой до выполнения усиления, не дает такого эффекта как в предыдущих случаях. Уси-

мм. Такой вид разрушения следует учитывать как предельное состояние при проектировании усиления железобетонных конструкций.

Библиографический список

1. Невский А.В. Экспериментальные исследования прочности бетонных колонн с углекомпозитным стержне-



вым, дисперсным и внешним армированием на основе углеродного волокна при кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 Т.20, № 4. С. 91–101. С.111-121.

2. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Крассникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2 (62). С. 32-41.

3. Krassowska, J. The influence of steel and basalt fibers on the shear and flexural capacity of reinforced concrete beams / J. Krassowska, A. Lapko // Journal of Civil Engineering and Architecture. – 2013. – Vol. 7, № 7 (68). – Pp. 789–795.

4. Ветрова О.А. Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. 24(1). С. 103-114.

5. Моргунов М.В., Копелиович Д.И. Экспериментальные исследования деформирования бетонной балки армированной стеклопластиковой арматурой // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 278-281.

6. Фролов Н.В., Смоляго Г.А., Полоз М.А. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок с различным содержанием в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова 2017. № 1. С. 60-64.

7. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенности работы бетонных конструкций с ком-

бинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 124-128.

8. Богданова Е.Р. Изменение свойств сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном в условиях воздействия различных сред // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №2. С. 39-43.

9. Меркулов С.И., Римшин В.И., Акимов Э.К. Огнестойкость бетонных конструкций с композитной стержневой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №4. С.50-53.

10. Кустикова Ю.О., Римшин В.И. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №6. С. 6 – 9.

11. Меркулов С.И. Анализ и перспективы развития усиления бетонных конструкций композитной арматурой / Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений – Курск. Курский государственный ун-т. 2015. С. 170-175.

12. Степанов А.Ю., Римшин В.И., Напряженно-деформированное состояние конструкций зданий и сооружений, армированных композитной полимерной арматурой при сейсмическом воздействии // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 57-61.

14. Меркулов С.И., Акимов Э.К. Методика экспериментальных исследований бетонных балок с композитной арматурой с отгибами на опорах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 8–14.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья
УДК 492.412 : 551.5
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_1_150

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ДЛЯ УМЕРЕННОГО, СУБТРОПИЧЕСКОГО, ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНОГО И АРКТИЧЕСКОГО
КЛИМАТОВ. Часть II. АБСОЛЮТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ**

© Авторы 2025
SPIN: 7494-0840
ORCID: 0000-0002-2328-6238
ScopusID: 57190161363
ResearcherID: B-1228-2017
SPIN: 5865-8774
ORCID: 0009-0002-7394-7353

НИЗИНА Татьяна Анатольевна
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»
(Россия, Саранск, e-mail: nizinata@yandex.ru)

ЧИБУЛАЕВ Игорь Александрович
аспирант
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»
(Россия, Саранск, e-mail: chibulaev98@mail.ru)

SPIN: 9332-6318
ORCID: 0000-0001-8762-5369
SCOPUS ID: 57190172059
ResearcherID: P-2639-2017

НИЗИН Дмитрий Рудольфович
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»
(Россия, Саранск, e-mail: nizindi@yandex.ru)

SPIN: 6486-7164
ORCID: 0009-0008-5728-8814

СПИРИН Илья Петрович
аспирант
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»
(Россия, Саранск, e-mail: spirinil2000@yandex.ru)

SPIN: 9739-9569
ORCID: 0009-0002-6804-5654

ПИВКИН Николай Андреевич
магистрант
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва»
(Россия, Саранск, e-mail: 5927401@mail.ru)

Аннотация. На основе архивных климатических данных, полученных в 2019-2023 годах на метеостанциях в г. Саранск, г. Геленджик, г. Якутск и пос. Тикси, расчетным способом получены значения абсолютной влажности окружающего воздуха. В работе приведен сравнительный анализ показателей абсолютной влажности в умеренном, субтропическом, экстремально холодном и арктическом климатах. Проведен анализ кривых распределения исследуемого показателя в зависимости от месяца в рамках одного (2022 г.) года и пяти лет (2019-2023 гг.). Графическая интерпретация рассматриваемых метеорологических параметров представлена в виде карт распределения, при рассмотрении которых выделены области с наиболее вероятными сочетаниями значений температуры и абсолютной влажности.

Ключевые слова: климатическая зона; метеорологические параметры; архивные климатические данные; температура воздуха; относительная влажность воздуха; абсолютная влажность воздуха; атмосферное давление; кривая распределения; карта распределения

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FWRS-2024-0095).

Для цитирования: Комплексный анализ количественных значений метеорологических факторов для умеренного, субтропического, экстремально холодного и арктического климатов. Часть II. Абсолютная влажность / Т.А. Низина, И.А. Чибулаев, Д.Р. Низин, И.П. Спирин, Н.А. Пивкин // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 150-156. doi:10.51608/26867818_2025_1_150.



Original article

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF QUANTITATIVE VALUES OF
METEOROLOGICAL FACTORS FOR TEMPERATE, SUBTROPICAL, EXTREMELY COLD AND ARCTIC
CLIMATES. Part 2. ABSOLUTE HUMIDITY

© The Author(s) 2024

NIZINA Tatiana Anatolyevna

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

CHIBULAEV Igor Alexandrovich

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: chibulaev98@mail.ru)

NIZIN Dmitry Rudolfovich

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

SPIRIN Ilya Petrovich

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: spirinil2000@yandex.ru)

PIVKIN Nikolai Andreevich

master's student
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: 5927401@mail.ru)

Abstract. Based on archived climate data obtained in 2019-2023 at weather stations in Saransk, Gelendzhik, Yakutsk and the village of Tiksi, the calculated values of absolute humidity are obtained. The paper presents a comparative analysis of temperature and absolute humidity in temperate, subtropical, extremely cold and Arctic climates. The graphical interpretation of the meteorological parameters under consideration is presented in the form of distribution maps, which highlight areas with the most likely combinations of temperature and absolute humidity values. The distribution curves of the absolute humidity of the surrounding air depending on the month within one year (2022) and four years (2019-2023) are given.

Keywords: climate zone; meteorological parameters; archived climate data; air temperature; relative humidity; absolute humidity; atmospheric pressure; distribution curve; distribution map

For citation: Comprehensive analysis of quantitative values of meteorological factors for temperate, subtropical, extremely cold and arctic climates. Part 2. Absolute humidity / T.A. Nizina, I.A. Chibulaev, D.R. Nizin, I.P. Spirin, N.A. Pivkin // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 150-156. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_150.

Введение. Одной из наиболее актуальных проблем строительной отрасли является обеспечение нормативного срока эксплуатации и долговечности зданий и сооружений. Строительные материалы, применяемые в конструкциях зданий и сооружений, подвергаются комплексному воздействию факторов окружающей среды, на основе оценки которых формируется климатическая составляющая определенного района строительства [1 – 5]. Изменения температуры, относительной и абсолютной влажности, интенсивности осадков, солнечной радиации, а также

их различные комбинации, существенно влияют на целостность и срок службы строительных изделий и конструкций [6 – 7].

Температура и влажность окружающего воздуха являются ключевыми факторами, влияющими на свойства строительных материалов и изделий. Эти параметры оказывают влияние не только на физические характеристики материалов, но и на их долговечность, устойчивость к внешним воздействиям и эксплуатационные показатели. Для оценки уровня влагонасыщенности окружающего воздуха наиболее



часто используют значения относительной влажности, характеризующие процент насыщения окружающего воздуха водяным паром при определенной температуре. При этом для оценки скорости насыщения строительных материалов влагой из окружающего воздуха важно иметь данные по изменению именно абсолютной влажности, показывающих концентрацию водяного пара, содержащегося в одном кубическом метре воздуха [8 – 10].

В работе [11] был проведен анализ изменения температуры и относительной влажности окружающего воздуха для умеренного (г. Саранск), экстремально холодного (г. Якутск), арктического (пос. Тикси) и субтропического (г. Геленджик) климатов, фиксируемых в 2019 – 2023 годах. По результатам проведенных исследований построены карты распределения температуры и относительной влажности отдельно для каждой исследуемой климатической зоны, выявлены области наиболее частых комбинаций вышеуказанных климатических факторов.

В данной работе поставлена задача проанализировать изменение абсолютной влажности окружающего воздуха для четырех вышеуказанных климатических районов с целью последующего анализа скорости процессов сорбции-десорбции эксплуатирующихся в их условиях строительных материалов. Выбор климатических зон не случаен. Саранск, находящийся в центральной части России, представлен континентальным климатом с холодными зимами и теплым летом. Геленджик, расположенный на Черноморском побережье, характеризуется мягким климатом с теплым летом и умеренно холодной зимой. Якутск, известный своими суровыми зимами, демонстрирует экстремально низкие температуры, в то время как поселок Тикси, расположенный за Полярным кругом на берегу моря Лаптевых, отличается своим суровым, арктическим климатом [12 – 14].

Методология. Известно, что относительная и абсолютная влажность связаны между собой соотношением [15]:

$$\varphi = \frac{f}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где φ – относительная влажность, %; f – абсолютная влажность, г/м³; ρ_0 – плотность насыщенного пара при той же температуре, г/м³.

Относительная влажность воздуха – отношение парциального давления водяного пара к его предельному значению (давлению насыщенного водяного пара) над плоской поверхностью чистой воды при постоянном давлении и температуре, выраженное в процентах. Относительная влажность показывает соотношение между количеством водяного пара в воздухе e и количеством водяного пара в воздухе в состоянии насыщения e_w , то есть максимальным количеством водяного пара, который может содержаться в воздухе при данной температуре и давлении:

$$\varphi = \frac{e}{e_w} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Абсолютная влажность воздуха – масса водяного пара (m_v , г) в единице объема влажного воздуха (V , м³):

$$f = \frac{m_v}{V}, \quad (3)$$

Фиксируемые с помощью станций автоматического контроля показатели относительной влажности не позволяют напрямую оценивать концентрацию влаги в окружающем воздухе, так как данный показатель существенно зависит от температуры, а также атмосферного давления. Температура и относительная влажность окружающего воздуха являются взаимосвязанными климатическими параметрами, обратно пропорциональными друг другу (при постоянстве других метеорологических факторов). При неизменном количестве водяного пара в воздухе и повышении температуры относительная влажность снижается, а при уменьшении температуры – увеличивается. Зная значения температуры воздуха и относительной влажности, можно определить, чему будет равна абсолютная влажность. Рост абсолютной влажности, при условии, что температура воздуха будет фиксирована, приводит к увеличению относительной влажности.

Рассчитать значения абсолютной влажности можно используя уравнение Менделеева-Клапейрона [16]:

$$PV = \frac{m}{M}RT, \quad (4)$$

где P – давление газа; V – объем; m – масса газа; M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль*К); T – температура, К.

Для нашего случая уравнение (4) можно записать как:

$$eV = mR_vT, \quad (5)$$

где e – количество водяного пара в воздухе; R_v – газовая постоянная для водяного пара, равная 461,5 Дж/(кг*К).

Из уравнения (5) можно выразить соотношение массы к объему:

$$\frac{m}{V} = \frac{e}{R_vT}. \quad (6)$$

Насыщенное давление водяного пара во влажном воздухе определяется по формуле:

$$e'_w(p, t) = f(p) \cdot e_w(t), \quad (7)$$

где $e_w(t)$ – насыщенное давление чистой фазы во влажном воздухе, рассчитываемое в зависимости от температуры окружающего воздуха (t , °C) как:

$$e_w(t) = 6.112 \cdot e^{\frac{17.62t}{243.12+t}}, \quad (8)$$

$f(p)$ – функция, зависящая от давления (p , гПА):

$$f(p) = 1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6}p - 0.074 \cdot p^{-1}. \quad (9)$$

Выразим количество водяного пара в воздухе e из формулы (2):



$$e = \frac{\varphi \cdot e_w}{100} \quad (10)$$

Тогда, используя (3) и (6), можно определить значение абсолютной влажности в зависимости от температуры, относительной влажности и давления для каждой фиксируемой метеостанцией временной точки:

$$f = \frac{e}{R_v \cdot T} \quad (11)$$

Результаты. Авторским коллективом проведен расчет абсолютной влажности окружающего воздуха на основе данных изменения температуры, относительной влажности и атмосферного давления, полученных на метеостанциях в г. Саранск, г. Геленджик, г. Якутск и пос. Тикси за 2019 – 2023 гг. [17]. В соответствии с Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам [18], метеорологические параметры фиксировались в сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч среднего гринвичского времени, что соответствует 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24 ч московского зимнего времени.

Тепловые карты изменения абсолютной влажности в течение одного календарного года (2022 г.) для четырех различных климатов представлены на рисунке 1, кривые распределения – на рисунке 2.



Рисунок 1 – Тепловые карты распределения абсолютной влажности окружающего воздуха в умеренно континентальном (а), субтропическом (б), экстремально холодном (в) и арктическом (г) климатах (2022 год)

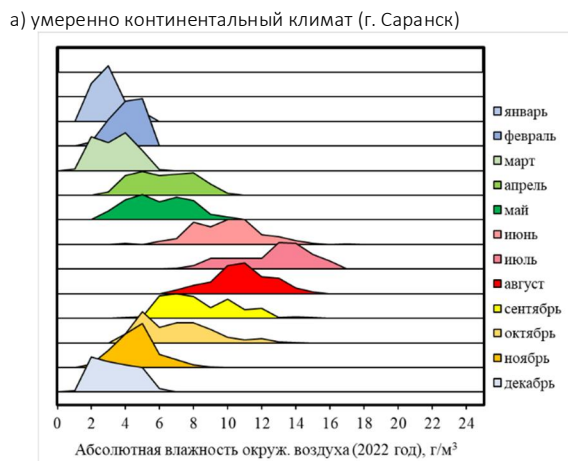


Рисунок 2 – Кривые распределения абсолютной влажности окружающего воздуха в зависимости от месяца 2022 года в умеренно континентальном (а)

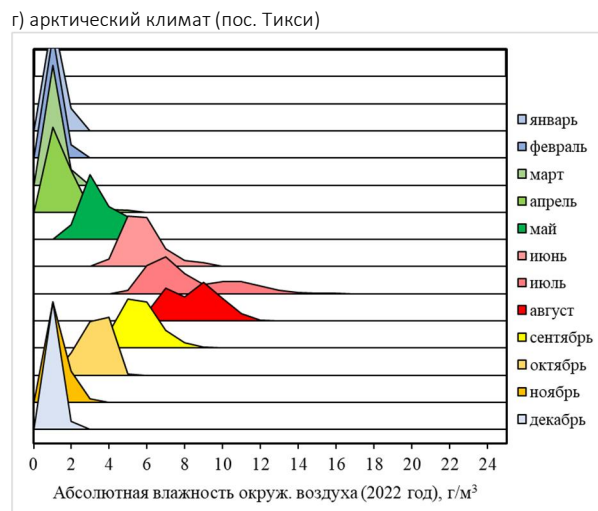
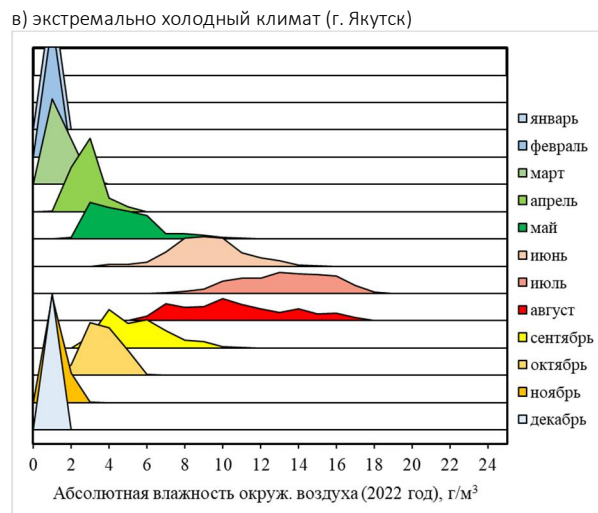
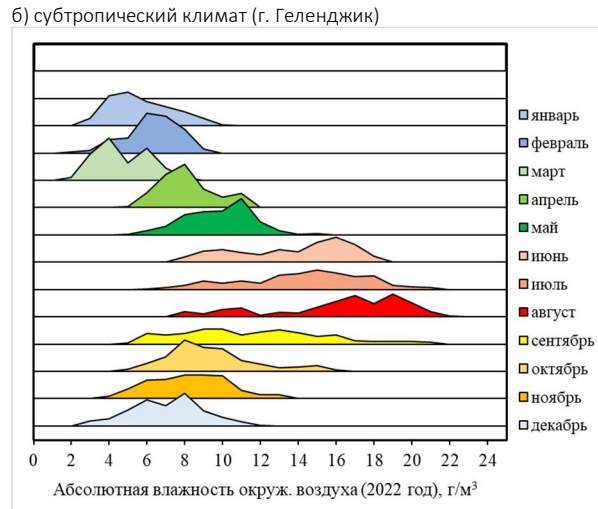


Рисунок 2 – Кривые распределения абсолютной влажности окружающего воздуха в зависимости от месяца 2022 года в субтропическом (б), экстремально холодном (в) и арктическом (г) климатах

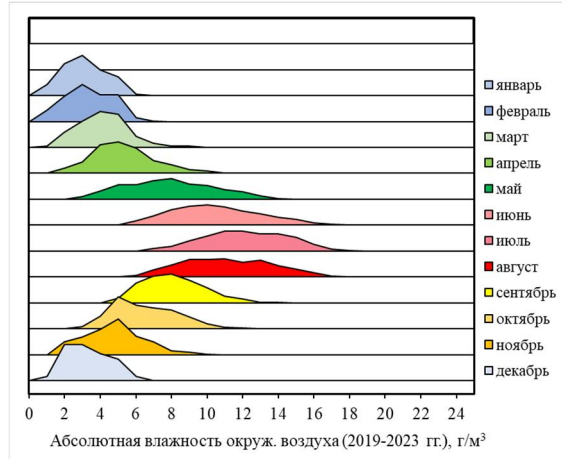
Тепловая карта распределения абсолютной влажности окружающего воздуха для умеренно континентального климата (рисунок 1, а) имеет пере-



менный характер на протяжении всего года, достигая в летний период значений $16,4 \text{ г/м}^3$. Для субтропического климата (рисунок 1, б) характерно повышение влажности в период с июня по сентябрь. Анализируя карты для экстремально холодного и арктического климатов (рисунок 1, в – г), можно отметить, что в период с ноября по апрель абсолютная влажность стремится к минимальным значениям (не более 1-2%), а повышается только в летние месяцы.

Распределение абсолютной влажности в умеренно континентальном климате (рисунок 2, а) в период с ноября по март имеет вид, близкий к нормальному и логарифмически нормальному. В субтропическом климате (рисунок 2, б), ввиду более широкого диапазона варьирования величин, кривые распределения являются более «пологими». Также значительный разброс значений абсолютной влажности наблюдается для летних месяцев в экстремально холодном климате (рисунок 2, в). Наиболее сухой воздух из четырех исследуемых климатических зон характерен для арктического климата (рисунок 2, г).

а) умеренно континентальный климат (г. Саранск)



б) субтропический климат (г. Геленджик)

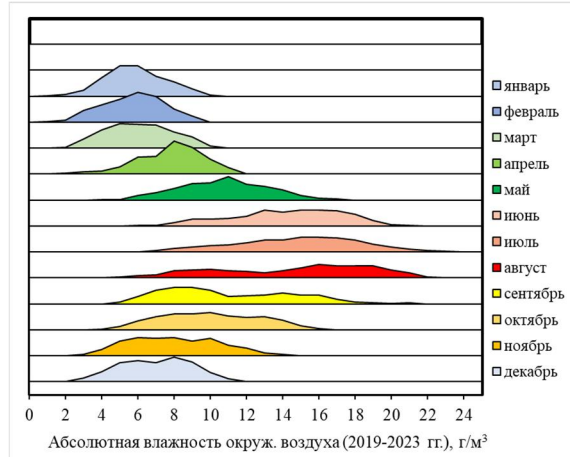
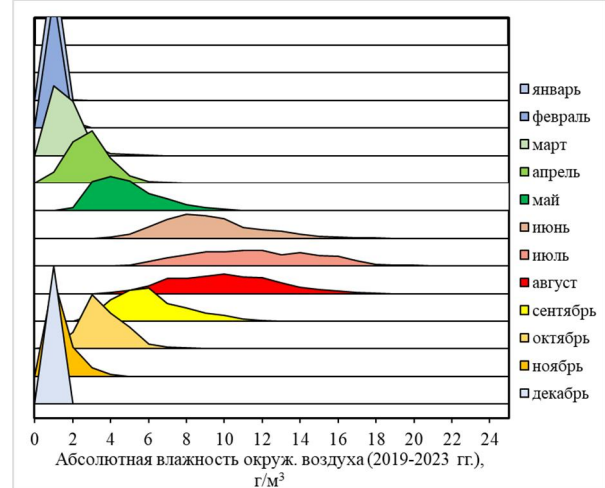


Рисунок 3 – Кривые распределения абсолютной влажности окружающего воздуха в зависимости от месяца 2019-2023 гг. в умеренно континентальном (а)

в) экстремально холодный климат (г. Якутск)



г) арктический климат (пос. Тикси)

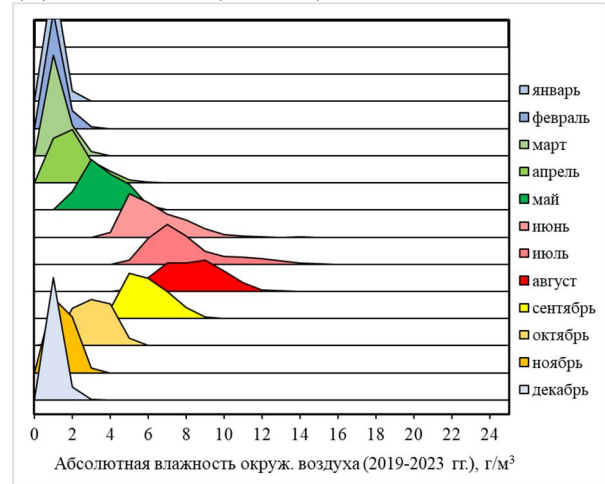


Рисунок 3 – Кривые распределения абсолютной влажности окружающего воздуха в зависимости от месяца 2019-2023 гг. в умеренно континентальном (а), субтропическом (б), экстремально холодном (в) и арктическом (г) климатах

Увеличение объема для анализа значений абсолютной влажности в пять раз (для временного интервала 2019-2023 гг.) приводит к выраженному сглаживанию кривых распределения (рис. 3). Для комплексного анализа температуры и абсолютной влажности окружающего воздуха были построены карты распределения за 2019-2023 годы для четырех исследуемых климатических зон (рисунки 4, 5).

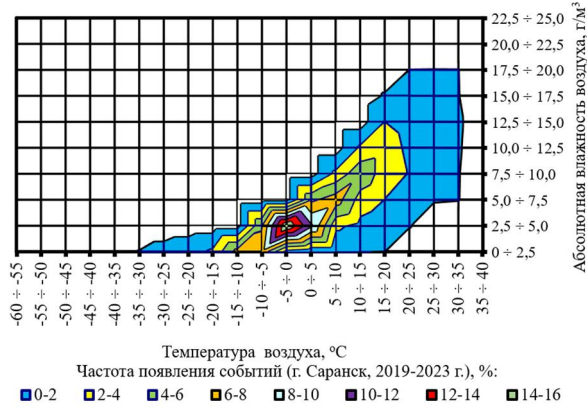
Проводя сравнительный анализ карт распределения, можно отметить, что для умеренно континентального климата (рисунок 4, а) наибольшая вероятность событий, равная $14 \div 16\%$, характерна при температуре $-5 \div 0 \text{ }^\circ\text{C}$ и абсолютной влажности $2,5 \div 5,0 \text{ г/м}^3$. Для субтропического климата (рисунок 4, б) частота событий, соответствующая такому же уровню ($12 \div 14\%$), зафиксирована при температуре $5 \div 10 \text{ }^\circ\text{C}$ и абсолютной влажности $5,0 \div 7,5 \text{ г/м}^3$. Карта распределения для умеренно континентального климата имеет большую область в зоне отрицательных температур, достигая значений до $-35 \div -30 \text{ }^\circ\text{C}$, по



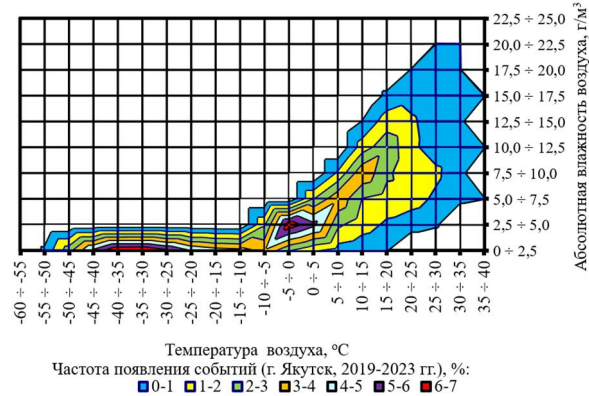
сравнению с картой субтропического климата, где температура опускается не ниже $-10 \div -5$ °С. Абсолютная влажность, в свою очередь, достигает значений $17,5 \div 20,0$ г/м³ и $22,5 \div 25,0$ г/м³ соответственно.

ставляет $5 \div 10$ °С, а абсолютная влажность – $5,0 \div 7,5$ г/м³.

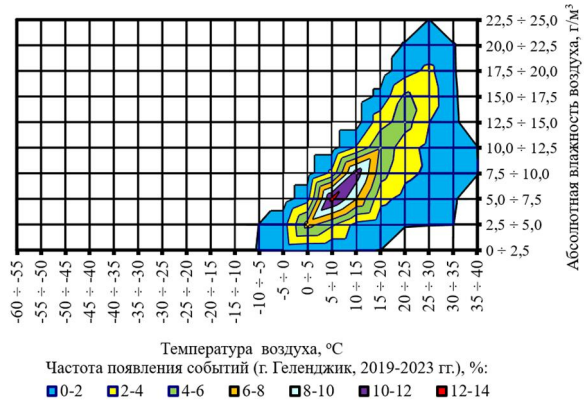
а) умеренно континентальный климат (г. Саранск)



а) экстремально холодный климат (г. Якутск)



б) субтропический климат (г. Геленджик)



б) арктический климат (пос. Тикси)

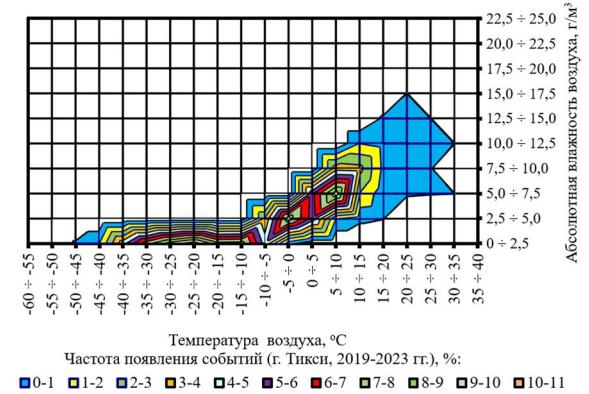


Рисунок 4 – Карты распределения температуры и абсолютной влажности окружающего воздуха в умеренно континентальном (а) и субтропическом (б) климатах (2019 – 2023 гг.)

Рисунок 5 – Карты распределения температуры и абсолютной влажности окружающего воздуха в экстремально холодном (в) и арктическом (г) климатах (2019 – 2023 гг.)

Анализируя представленные на рисунке 5 карты распределения температуры и абсолютной влажности, можно отметить, что для экстремально холодного климата (рисунок 5, а) с частотой появления событий, равной 6-7 %, выделяется две области температур $-40 \div -25$ °С и $-5 \div 0$ °С при абсолютной влажности $0 \div 2,5$ г/м³ и $2,5 \div 5,0$ г/м³ соответственно. Стоит отметить, что в данных климатических условиях область покрытия возможных уровней температуры и абсолютной влажности окружающего воздуха является самой широкой по сравнению с другими рассматриваемыми регионами.

Выводы. В соответствии с проведенным анализом тепловых карт и кривых распределения выявлены существенные различия показателей абсолютной влажности окружающего воздуха для четырех анализируемых климатических районов: умеренного континентального (г. Саранск), субтропического (г. Геленджик), экстремально холодного (г. Якутск) и арктического (пос. Тикси). На картах распределения установлены области с наиболее часто фиксируемыми сочетаниями температуры и абсолютной влажности окружающего воздуха. Использование для практических исследований значений абсолютной влажности позволит перейти к количественному анализу процессов сорбции-десорбции строительными материалами влаги из окружающего воздуха в процессе натурального экспонирования.

На карте распределения метеорологических показателей в арктическом климате (рисунок 5, б) выделяется область с наибольшей частотой событий, равной 10-11%, при температуре $-25 \div -20$ °С и абсолютной влажности $0 \div 2,5$ г/м³. Для летнего периода также можно выделить область с частотой появления событий 10-11%, при которой температура со-

Библиографический список

1. Климатические испытания строительных материалов / под общ. ред. д-ра техн. наук проф. О.В. Старцева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.Т. Ерофеева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.П. Селяева. - М.: Изд-во АСВ, 2017. – 558 с.



2. Каблов, Е. Н. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) / Е.Н. Каблов, О.В. Старцев // *Авиационные материалы и технологии*. – 2018. – № 2. – С. 47–58.
3. Низина, Т. А. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография / Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – 188 с.
4. Каблов, Е.Н. Старение полимерных композиционных материалов / Е.Н. Каблов, В.О. Старцев, А.Б. Лаптев. - ВИАМ, 2023. – 536 с.
5. Низина, Т.А. Потенциал использования модельных и реальных значений действующих факторов окружающей среды в вопросах прогнозирования долговечности строительных материалов, изделий и конструкций / Т.А. Низина, Д.Р. Низин, В.П. Селяев, И.П. Спирин, А.С. Станкевич // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022-2023 годы: научные труды РААСН*. Том. 2. – М., 2024. – С. 315–324.
6. Низина, Т.А. Большие данные при прогнозировании климатической стойкости строительных материалов. I. Температура и влажность воздуха / Т.А. Низина, Д.Р. Низин, В.П. Селяев, И.П. Спирин, А.С. Станкевич // *Строительные материалы и изделия*. – 2023. – Том 6. – № 3. – С. 18–30. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-3-18-30.
7. Низина, Т.А. «Большие данные» при прогнозировании климатической стойкости строительных материалов. Актинометрические показатели / Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин, И.А. Чибулаев, И.П. Спирин, Н.А. Пивкин // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2024. – №4. – С. 124–133. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-4-124-133.
8. Изменение влагосодержания образцов эпоксидных полимеров в условиях натурального климатического старения / Д.Р. Низин, Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.А. Климентьева, Н.С. Канаева // *Климат-2021: Современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы. Материалы VI Всерос. научно-техн. конф.* – М., 2021. – С. 41–52.
9. Влияние влажностного состояния на кинетику накопления повреждений в структуре образцов эпоксидных полимеров под действием растягивающих напряжений / Т.А. Низина, Д.Р. Низин, Н.С. Канаева, Д.А. Климентьева, А.А. Порватова // *Эксперт: теория и практика*. – 2022. – № 1. – С. 37–45.
10. Низин, Д.Р. Влияние концентрации наномодификаторов и влагосодержания образцов на изменение свойств эпоксидных полимеров / Д.Р. Низин, Т.А. Низина, И.П. Спирин, И.А. Чибулаев, Н.А. Пивкин // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. – 2024. – №6. – С. 499-509.
11. Низина, Т.А. Комплексный анализ количественных значений метеорологических факторов для умеренного, субтропического, экстремально холодного и арктического климатов / Т.А. Низина, И.А. Чибулаев, Д.Р. Низин, И.П. Спирин, Н.А. Пивкин // *Эксперт: теория и практика*. – 2024. – № 4 (27). – С. 80-87.
12. Алисов, Б.П. Климатология / Б.П. Алисов, Б.В. Полтараус // *Изд. второе, переработ. и дополн.* – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – 299 с.
13. Дроздов, О.А. Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева, А.Н. Раевский, Л.К. Смекалова, В.П. Школьный. – М.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
14. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. – 104 с.
15. Кирьянов, А.П. Термодинамика и молекулярная физика / А. П. Кирьянов, С. М. Коршунов. - М.: Просвещение, 1977. –160 с.
16. Стромберг, А.Г. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко // *Под ред. А. Г. Стромберга*. – М.: Высшая школа, 2009. – 527 с.
17. «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru>.
18. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам (выпуск 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях, 1985; изменение №1, 1997).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья
УДК 69.04
ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура
ВАК 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения
doi:10.51608/26867818_2025_1_157

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

© Авторы 2025
SPIN: 2996-1425

НИКОЛЮКИН Алексей Николаевич
кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: valax1@yandex.ru)

SPIN: 8674-6046

МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент,
директор института «Архитектура, строительство и транспорт»
Российская академия архитектуры и строительных наук;
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов, e-mail: monastyrev68@mail.ru)

Аннотация. Рассматриваются теоретические и практические вопросы применения методов машинного обучения (ML) в строительной отрасли, где возрастающая сложность принятия решений и потребность в повышении эффективности управления жизненным циклом объектов капитального строительства стимулируют использование современных интеллектуальных алгоритмов. Приводятся история машинного обучения, его основы и существующие методы ML. Произведен анализ достоинств и недостатков машинного обучения в целом и существующих методов ML. Разработана классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства (инженерных изысканий, проектирования, возведения, эксплуатации, капитального ремонта, реконструкции, и снос). Сделан вывод о высокой перспективности применения машинного обучения в строительной отрасли для повышения точности прогнозов, оптимизации ресурсных затрат и сокращения рисков на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства.

Ключевые слова: машинное обучение (ML); строительство; проектирование; анализ данных; жизненный цикл объектов капитального строительства

Для цитирования: Николюкин А.Н., Монастырев П.В. Анализ применения методов машинного обучения в строительной отрасли // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 157-171. doi:10.51608/26867818_2025_1_157.

Original article

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

© The Author(s) 2025

NIKOLYUKIN Alexey Nikolaevich
Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: valax1@yandex.ru)

MONASTYREV Pavel Vladislavovich
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor, Director of the Institute «Architecture, Construction and Transport»
RAASN; Tambov State Technical University
(Russia, Tambov, e-mail: monastyrev68@mail.ru)



Abstract. The theoretical and practical aspects of applying machine learning (ML) methods in the construction industry are considered, in which the increasing complexity of decision-making and the need to improve the efficiency of managing the lifecycle of capital construction projects drive the adoption of modern intelligent algorithms. The history of machine learning, its fundamentals, and existing ML methods are presented. An analysis of the advantages and disadvantages of machine learning as a whole and of existing ML methods is conducted. A classification of machine learning methods is developed, tailored to the tasks addressed at various stages of the lifecycle of capital construction projects (engineering surveys, design, construction, operation, major repairs, reconstruction, and demolition). The conclusion highlights the high potential of applying machine learning in the construction industry to enhance prediction accuracy, optimize resource costs, and reduce risks at all stages of the lifecycle of capital construction projects.

Keywords: machine learning (ML); construction; design; data analysis; lifecycle of capital construction projects

For citation: Nikolyukin A.N., Monastyrev P.V. Analysis of the application of machine learning methods in the construction industry // *Expert: theory and practice*. 2025. № 1 (28). Pp. 157-171. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_157.

1. Введение. Цифровая трансформация, проникающая в разные отрасли, стимулирует интеграцию интеллектуальных алгоритмов в строительную сферу. Машинное обучение (ML), опираясь на математические принципы и большой объём статистических данных, даёт инженерам возможность улучшать точность расчётов конструкций, прогнозировать эксплуатационные показатели зданий, повышать эффективность управления их жизненным циклом и автоматизировать рутинные процессы. Развиваясь под влиянием вычислительных технологий, современные методы аналитического и предиктивного анализа открывают перспективы экономии материальных и трудовых ресурсов, а также способствуют повышению надёжности возводимых зданий и сооружений.

Интерес к использованию механизмов машинного обучения в строительстве объясняется несколькими факторами. Во-первых, усложняющаяся архитектурная форма зданий, сочетаясь с возрастающими требованиями по надёжности и энергоэффективности, требует более сложных расчётных моделей. Во-вторых, накопленные массивы данных о механике работы конструкций, условиях эксплуатации и характере нагрузок дают благоприятную основу для применения алгоритмов интеллектуального ана-

лиза. В-третьих, сокращение расходов и снижение рисков при возведении, обслуживании и капитальном ремонте объектов усиливает спрос на инновационные подходы, среди которых значительную роль занимают методы машинного обучения [1-29].

2. История и основы машинного обучения.

Машинное обучение, являясь одной из центральных областей искусственного интеллекта, представляет собой совокупность методов, позволяющих алгоритмам самостоятельно находить закономерности в данных и улучшать качество решений, используя накопленный опыт. Определяя ML как способ построения моделей, способных адаптироваться без прямого программирования каждого шага, можно сказать, что оно открывает новые возможности для автоматизации и оптимизации процессов в самых разных отраслях, включая строительство (Рис. 1).

История машинного обучения берет своё начало в середине XX века, когда началось активное развитие вычислительных технологий и теории искусственного интеллекта. Первым этапом становления можно считать работы Алана Тьюринга, предложившего концепцию машины, способной к обучению [1]. В 1957 году Фрэнк Розенblatt представил модель персептрона — первую вычислительную ар-

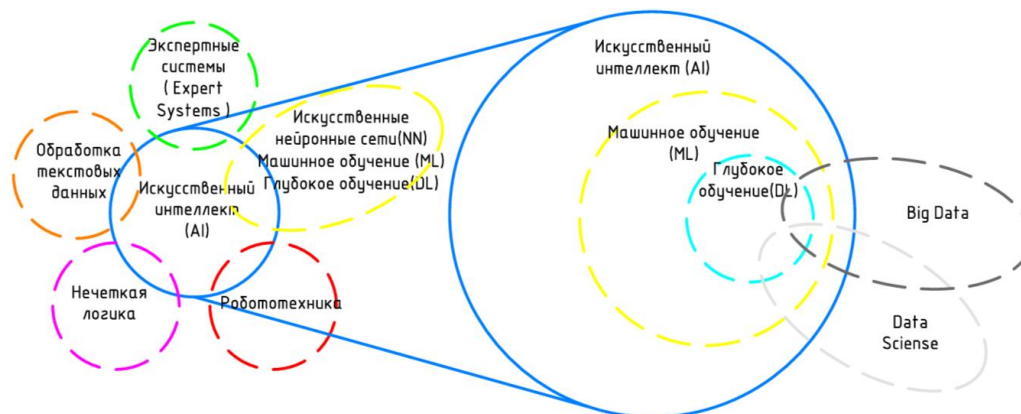


Рис. 1. Области применения и взаимосвязи понятий искусственного интеллекта (AI), машинного обучения (ML), искусственных нейронных сетей (NN), Big Data и Data Science. [1-4]

хитектуру, способную решать задачи классификации. Несмотря на ограниченные возможности, это открытие стало важным шагом в развитии адаптивных методов [4].

В 1980-х годах произошёл значительный прорыв благодаря разработке алгоритма обратного распространения ошибки (backpropagation), позволившего эффективно обучать многослойные нейронные сети. Параллельно развивались статистические методы, такие как регрессия, деревья решений и кластеризация. Девяностые годы принесли популярность ансамблевым методам (RandomForest, AdaBoost), значительно повысившим точность алгоритмов. В 2010-х, благодаря росту вычислительных мощностей (особенно GPU), большие данные и глу-

ритмов, позволяющих системам автоматически анализировать данные, выявлять закономерности и улучшать свои результаты на основе накопленного опыта. Одной из ключевых характеристик машинного обучения является способность моделей адаптироваться к новым данным, устраняя необходимость в ручном программировании каждого отдельного правила [5]. Основываясь на анализе больших объёмов данных, этот подход позволяет создавать математические модели, отражающие зависимости между параметрами и целевыми характеристиками.

Одним из ключевых аспектов машинного обучения является формализация задачи, обеспечивающая математическую строгость. В основе любой задачи машинного обучения лежит процесс постро-

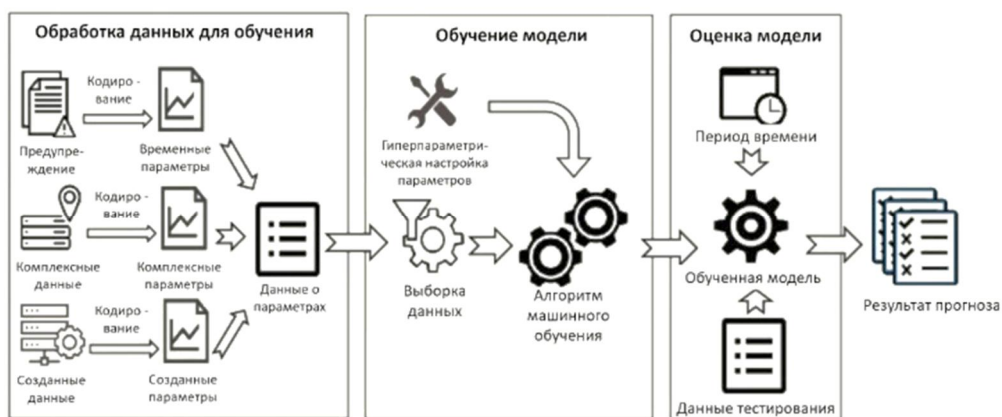


Рис. 2. Схема машинного обучения [24]

бое обучение (Deep Learning) стали новым этапом в развитии машинного обучения, открыв перспективы для работы с изображениями, речью и временными рядами [6, 7].

Машинное обучение сегодня охватывает широкий спектр задач (Рис. 2). Например, в строительной сфере это прогнозирование изменения прочностных характеристик материалов или изменение несущей способностей конструкций, автоматическое обнаружение дефектов конструкций или изделий и оптимизация строительных процессов. С точки зрения математики, задача ML сводится к поиску отображения, которое связывает входные данные с целевыми значениями, минимизируя ошибку предсказания. Такой подход позволяет моделям становиться гибкими инструментами анализа и прогнозирования в сложных инженерных системах.

Учитывая темпы развития цифровых технологий, теоретическую базу и широкий спектр применения инженерных решений, машинное обучение продолжает развиваться, укрепляя свои позиции как важнейший элемент цифровой трансформации строительной отрасли и смежных в ней областей.

Машинное обучение представляет собой научное направление, основанное на создании алго-

ния модели, которая описывает зависимость между входными признаками объекта $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и целевой переменной y . Векторы x_i представляют характеристики объекта (например, свойства материалов или параметры конструкции), а \hat{y}_i — это результат, который требуется предсказать, например прочность материала или вероятность возникновения дефекта [21].

Для достижения такой цели модель обучается на наборе данных $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$, где каждый объект представлен своим набором признаков x_i и соответствующим целевым значением y_i . Процесс обучения заключается в подборе функции $f(x_i; \theta)$, которая минимизирует отклонения между предсказанными результатами и фактическими значениями. Для количественного измерения ошибки используется функция потерь $L(y_i, \hat{y}_i)$, которая позволяет оценить качество предсказания модели.

Целью обучения становится нахождение таких параметров модели θ , которые минимизируют усреднённое значение функции потерь для всех объектов выборки. Это можно выразить в следующей формуле [21]:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(y_i, f(x_i; \theta)) \quad (1)$$



Данная задача решается с использованием методов оптимизации, о которых пойдёт речь далее. Для успешного обучения модели важно выбрать подходящую функцию потерь. Например, в задачах регрессии используется среднеквадратичная ошибка (MSE), которая минимизирует отклонения между реальными и предсказанными значениями:

$$L(y_i, \hat{y}_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

В задачах классификации, напротив, применяется логарифмическая функция потерь (cross-entropy loss), которая особенно эффективна для бинарных предсказаний:

$$L(y_i, \hat{y}_i) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i \ln(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \ln(1 - \hat{y}_i)] \quad (3)$$

Оптимизация параметров модели, будучи неотъемлемой частью процесса обучения, осуществляется методом градиентного спуска. На каждом шаге алгоритм обновляет параметры модели в направлении, уменьшающем значение функции потерь, что позволит записать выражение следующим образом:

$$\theta \leftarrow \theta - \eta \cdot \nabla_{\theta} L(\theta) \quad (4)$$

где η — скорость обучения, определяющая величину шага.

Не менее важной областью применения машинного обучения являются задачи классификации, где модель предсказывает вероятность принадлежности объекта к одному из классов. Например, вероятность того, что объект относится к классу 1, можно выразить через логистическую функцию [21]:

$$P(y = 1|x) = \sigma(w^T x + b) \quad (5)$$

где $\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$ представляет собой сигмоидную функцию. Данное преобразование позволяет интерпретировать результат как вероятность, что, в свою очередь, используется для принятия решений о принадлежности объекта к одному из классов:

$$\hat{y} = \begin{cases} 1, & \text{если } P(y = 1|x) \geq 0.5 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, машинное обучение предоставляет инструменты для решения широкого спектра задач, включая классификацию, регрессию и кластеризацию. Благодаря использованию методов оптимизации и математически обоснованных подходов, алгоритмы способны адаптироваться к новым данным и повышать точность прогнозов. В следующих разделах будет рассмотрена самые распространённые методы ML в практике, что позволит оценить их влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов капитального строительства.

3. Методы машинного обучения. Методы машинного обучения представляют собой широкую группу алгоритмов, направленных на анализ данных, выявление закономерностей и решение сложных задач. Включают как традиционные подходы, такие как линейная и логистическая регрессия, так и более сложные методы, включая метод опорных векторов

(SVM), дерево решений, ансамблевые методы, кластеризация, метод главных компонент (PCA), искусственные нейронные сети (NN), генетические алгоритмы, нечёткую логику.

Линейная регрессия, одна из старейших моделей машинного обучения, лежит в основе прогнозирования количественных характеристик. Её использование восходит к работам Карла Гаусса и Адриена Мари Лежандра, которые в начале XIX века предложили метод наименьших квадратов для минимизации отклонений предсказанных значений от фактических. Модель предполагает, что зависимость между входными параметрами $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и выходной переменной y описывается линейным уравнением:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_j + \varepsilon \quad (7)$$

где β_0 — свободный член; β_j — коэффициенты, характеризующие влияние соответствующих параметров; ε — случайная ошибка, учёт которой позволяет учитывать неточности модели.

Основной задачей линейной регрессии является подбор таких коэффициентов β_j , которые минимизируют среднеквадратичную ошибку:

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

где m — количество наблюдений; y_i — реальные значения; \hat{y}_i — предсказания модели.

Применение линейной регрессии в строительной отрасли связано с задачами прогнозирования, изменение прочностных характеристик материалов. Например, используя данные о составе смеси, температуре твердения и условиях эксплуатации, модель способна предсказать модуль упругости или прочность на сжатие [23]. Кроме того, метод полезен при анализе долговечности конструкций, оценивая, как климатические факторы влияют на снижение их эксплуатационных характеристик [21].

Несмотря на простоту и интерпретируемость, линейная регрессия ограничена своей неспособностью описывать нелинейные зависимости. Данный недостаток особенно заметен в сложных задачах, где взаимодействие между параметрами существенно влияет на результат. Для таких случаев применяются расширения линейной регрессии, такие как полиномиальная регрессия или регуляризованные модели.

Если перейти к *логистической регрессии*, её важность обусловлена способностью решать задачи классификации. Метод, разработанный в середине XX века, использует вероятностный подход, оценивая вероятность принадлежности объекта к определённому классу. Основное отличие от линейной регрессии заключается в том, что вместо предсказания численных значений модель оценивает вероятность [21]:

$$p(x) = \frac{1}{1+e^{-z(x)}} \quad (9)$$

где $z(x) = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_j$.



Здесь $z(x)$ — линейная комбинация параметров, преобразуемая с помощью сигмоидной функции.

Вероятность $p(x)$, рассчитанная моделью, используется для принятия решений о принадлежности объекта к классу. Например, если $p(x) > 0.5$, объект относят к положительному классу. В строительной практике логистическая регрессия применяется для классификации строительных дефектов, таких как трещины, коррозия арматуры или прогибы. Анализируя параметры, такие как толщина защитного слоя бетона, наличие повреждений и уровень коррозии, модель предсказывает, является ли конструкция исправной или находится в предаварийном или аварийном состоянии.

Логистическая регрессия, как и линейная, отличается простотой и высокой интерпретируемостью, что делает её удобной для использования на практике. Однако её предположение о линейности взаимосвязи между входными признаками и логарифмом шансов ограничивает возможность использования логистической регрессии при анализе сложных систем, где зависимости между параметрами являются нелинейными.

Метод опорных векторов (*Support Vector Machine, SVM*), разработанный Владимиром Вапником и Алексеем Червоненкисом в 1960-х годах, получил широкое распространение после внедрения алгоритмов для нелинейного разделения данных. Данный подход позволяет эффективно решать задачи классификации и регрессии, находя оптимальную гиперплоскость, которая максимально разделяет классы данных. SVM работает как с линейно разделимыми, так и с нелинейными данными, используя преобразования пространства параметров [23].

Суть метода заключается в построении гиперплоскости:

$$w \cdot x + b = 0 \quad (10)$$

где w — вектор весов; x — вектор параметров; b — смещение.

Гиперплоскость выбирается так, чтобы максимизировать зазор между классами, минимизируя вероятность ошибок классификации. Условие для разделения классов записывается как [23]:

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1, \quad \forall i \quad (11)$$

где y_i — метка класса (+1 или -1) для объекта i .

Для оптимизации используется задача минимизации:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (12)$$

которая находит параметры гиперплоскости. Если данные нелинейно разделимы, метод применяет ядровые функции, преобразующие пространство параметров в пространство более высокой размерности, где классы становятся линейно разделимыми. Например, радиально-базисная функция (RBF) задается формулой:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i - x_j|^2) \quad (13)$$

где γ — параметр ядра, регулирующий степень влияния точек.

SVM отличается высокой точностью и устойчивостью к переобучению, особенно при работе с небольшими и сложными наборами данных. В строительстве метод возможно использовать для классификации изображений дефектов, визуальный анализа конструкций и выявления аномалий в данных мониторинга конструкций. Однако вычислительная сложность алгоритма возрастает при увеличении размера данных, что ограничивает его применение в задачах с большим количеством объектов.

Дерево решений, развивавшееся на протяжении десятилетий, остаётся одним из ключевых методов машинного обучения. Его история восходит к середине XX века, когда задачи анализа данных и оптимизации решений в условиях неопределённости стимулировали развитие моделей, способных отображать сложные зависимости. Отличаясь наглядностью, метод активно используется в инженерных и научных исследованиях.

Основанное на разбиении данных по последовательности условий, дерево решений создаёт древовидную структуру, где каждое условие, связанное с конкретным признаком, минимизирует неопределённость внутри подгрупп. Используя критерий Джини для задач классификации [21]:

$$G = 1 - \sum_{k=1}^K p_k^2 \quad (14)$$

где p_k^2 — отражает долю объектов класса k в группе, модель формирует узлы и ветви, упрощая классификацию. В задачах регрессии основным инструментом оценки выступает среднеквадратичная ошибка (MSE).

Изначально применяемые для анализа маркетинговых данных, деревья решений постепенно интегрировались в инженерные дисциплины. В строительстве, учитывая их способность визуализировать процессы принятия решений, метод широко используется для классификации дефектов или процессов, а также для прогнозирования изменения механических или деформационных характеристик материалов. Проанализировав состав смеси, условия эксплуатации и режимы твердения и набора прочности бетона, модель помогает инженерам предсказывать эксплуатационные характеристики материалов, оптимизируя процесс проектирования.

Несмотря на универсальность, модель склонна к переобучению при увеличении глубины дерева, что проявляется в снижении обобщающей способности на новых данных. Совмещая простоту и эффективность, деревья решений продолжают занимать важное место в машинном обучении, предоставляя инженерам инструмент для анализа и оптимизации сложных систем.

Ансамблевые методы строят набор слабых моделей (обычно деревьев решений), объединяя их



для получения сильного предсказания. Итоговая модель представляет собой взвешенную сумму слабых моделей [21]:

$$F_m(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i h_i(x) \quad (15)$$

где $h_i(x)$ — слабая модель; α_i — её вес; m — общее количество моделей.

Ансамблевые методы используются для решения широкого круга задач в строительстве для оценки риска повреждений конструкций или оптимизации проектных решений на основе многопараметрических данных.

Данные методы отличаются высокой точностью, адаптивностью и применимостью в сложных задачах, однако требуют значительных вычислительных ресурсов.

Случайный лес (RandomForest), разработанный Лео Брейманом в 2001 году, представляет собой ансамблевый метод, основанный на построении множества деревьев решений. Основная идея заключается в объединении предсказаний нескольких деревьев для повышения точности и устойчивости модели. Этот метод использует технику бутстрапирования, создавая случайные подвыборки данных для построения отдельных деревьев. Для дальнейшего увеличения разнообразия на каждом узле дерева выбирается случайное подмножество параметров [5].

Модель случайного леса объединяет предсказания деревьев путём усреднения (для регрессии) или голосования (для классификации) [5]:

$$\hat{y} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T f_t(x) \quad (16)$$

где T — количество деревьев (множество возможных решений); $f_t(x)$ — предсказание t -го дерева.

Случайный лес обладает высокой устойчивостью к внешним воздействиям, которые невозможно предугадать (шуму) в данных, что делает его особенно полезным для задач, где данные содержат пропуски или ошибки. В строительстве возможно применить для прогнозирования прочностных характеристик конструкций, классификации типов повреждений конструкций и анализа эксплуатационных характеристик. Однако метод требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при работе с большими наборами данных.

Градиентный бустинг (GradientBoosting), разработанный Джеромом Фридманом в начале 2000-х годов, представляет собой мощный ансамблевый метод, который строит модели последовательно, с каждой итерацией улучшая предсказания за счёт минимизации ошибки предыдущих шагов. Метод работает, добавляя новые модели (обычно деревья решений), которые корректируют ошибки предыдущей композиции. Основная идея состоит в обучении нового дерева на остатках (градиентах) функции потерь, вычисленных на основе текущей модели [2].

Композиция предсказаний в градиентном бустинге строится следующим образом [2]:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + v h_m(x) \quad (17)$$

где $F_m(x)$ — итоговая модель на m -й итерации; $F_{m-1}(x)$ — композиция предсказаний предыдущей итерации; $h_m(x)$ — новая модель (например, дерево решений), которая минимизирует ошибку; v — скорость обучения, контролирующая величину коррекции.

Для каждой новой модели задача минимизации ошибки записывается как:

$$h_m(x) \approx - \frac{\partial L(y, F_{m-1}(x))}{\partial F_{m-1}(x)} \quad (18)$$

где $L(y, \hat{y})$ — функция потерь, например, среднеквадратичная ошибка или логарифмическая функция потерь.

Градиентный бустинг способен учитывать нелинейные зависимости и сложные структуры данных, что делает его одним из самых точных методов для задач прогнозирования и классификации. В строительной практике метод возможно применить для оценки анализа вероятности дефектов в конструкциях и оптимизации проектных решений.

Современные реализации градиентного бустинга, такие как XGBoost (Extreme Gradient Boosting), LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) и CatBoost, усовершенствовали традиционный градиентный бустинг, добавив поддержку регуляризации, оптимизацию вычислений и улучшенную работу с категориальными данными. Данные модификации обеспечивают высокую производительность и применимость к большим данным [21].

XGBoost добавляет поддержку регуляризации, предотвращая переобучение. Он также оптимизирует вычисления за счёт использования аппаратных возможностей и параллелизма.

LightGBM ускоряет процесс обучения за счёт выбора меньшего числа данных на каждом шаге, а также применения leaf-wise алгоритма роста деревьев.

CatBoost адаптирован для работы с категориальными данными, что исключает необходимость сложной предобработки. Эта особенность делает метод особенно полезным для задач, связанных с анализом строительных данных, где часто встречаются категориальные признаки, такие как типы материалов или виды дефектов.

Кластеризация — это один из ключевых подходов обучения без учителя, предназначенный для группировки объектов на основе их сходства. Метод нашёл широкое применение в анализе больших данных, где требуется выявить скрытые структуры без наличия заранее размеченных меток. Кластеризация позволяет сегментировать данные, выделяя группы с похожими характеристиками, что делает её полезной для решения задач в строительной отрасли.

Наиболее распространённым методом является *K-Means*, предложенный в середине XX века. Ал-



горитм минимизирует сумму квадратов расстояний между объектами и центрами их кластеров [22]:

$$\min_{\{\mu_k\}} \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (19)$$

где K — число кластеров; μ_k — центр k -го кластера; C_k — множество объектов, принадлежащих кластеру k ; $\|\cdot\|$ — евклидова норма.

Алгоритм работает итеративно, начиная со случайного выбора центров кластеров. На каждом шаге объекты распределяются по кластерам таким образом, чтобы минимизировать расстояние до центров. Затем центры пересчитываются как средние значения координат объектов, принадлежащих каждому кластеру.

Кластеризация активно применяется в строительстве для анализа эксплуатационных данных зданий и сооружений, сегментации территорий и материалов. Например, её можно использовать для группировки конструкций по этапам производства работ, выявления зон риска на стройплощадке или обнаружения аномалий в данных мониторинга.

Метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), разработанный Карлом Пирсоном, предназначен для снижения размерности данных. Данный подход позволяет упростить анализ многомерных данных, сохраняя основную информацию о вариациях. PCA особенно полезен в задачах, где данные имеют высокую размерность, затрудняющую их обработку и визуализацию.

Принцип работы PCA заключается в нахождении направлений, вдоль которых данные имеют наибольшую дисперсию. Данные направления, называемые главными компонентами, формируются на основе собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы данных. Первая главная компонента u_1 определяется как направление, максимизирующее дисперсию данных:

$$u_1 = \arg \max_u (\sum_{i=1}^m (x_i \cdot u)^2), \text{ при } |u| = 1 \quad (20)$$

где x_i — вектор параметров объекта i ; u — направление главной компоненты.

Применяя преобразование данных, PCA создаёт новую систему координат, где первые несколько главных компонент объясняют большую часть дисперсии. Данный метод используется для анализа и визуализации данных мониторинга зданий, сокращения числа параметров при разработке моделей и упрощения обработки сложных систем.

Искусственные нейронные сети (NN), вдохновлённые биологическими нейронами, стали одним из самых мощных инструментов анализа сложных данных. Их история началась с разработки перцептрона Фрэнком Розенблаттом в 1958 году. Хотя ранние версии сети были ограничены, появление алгоритма обратного распространения ошибки в 1986 году стало поворотным моментом, открыв возможности для создания многослойных сетей, способных решать сложные задачи.

Принцип работы NN основан на преобразовании входных данных через несколько слоёв нейронов, где каждый нейрон выполняет вычисления с использованием весов $w_{ij}^{(l)}$ и функции активации σ . Выход нейрона на l -м слое вычисляется следующим образом [5]:

$$z_j^{(l)} = \sum_{i=1}^{n_{l-1}} w_{ij}^{(l)} a_i^{(l-1)} + b_j^{(l)}, a_j^{(l)} = f(z_j^{(l)}) \quad (21)$$

где $z_j^{(l)}$ — линейная комбинация входных данных для нейрона j на слое l ; $w_{ij}^{(l)}$ — вес связи между нейроном i на предыдущем слое и нейроном j на текущем; $b_j^{(l)}$ — смещение; $a_i^{(l-1)}$ — выход нейрона предыдущего слоя; f — функция активации (например, сигмоида, ReLU).

Обучение NN осуществляется путём минимизации функции потерь, например, среднеквадратичной ошибки или кросс-энтропии, с использованием алгоритма градиентного спуска.

Искусственные нейронные сети находят широкое применение в строительной отрасли. Их используют для решения широкого спектра задач, начиная от проектирования и конструирования, заканчивая визуальным анализом и мониторингом строительной площадки. Кроме того, они применяются для анализа временных рядов, собранных с датчиков мониторинга.

Способность NN выявлять сложные закономерности делает их незаменимыми при обработке больших данных, однако для их обучения требуются значительные вычислительные ресурсы и большие объёмы данных и возможны проблемы с переобучением.

Генетические алгоритмы, вдохновлённые процессами естественного отбора, были разработаны Джоном Холландом в 1970-х годах. Данные стохастические методы применяются для оптимизации сложных систем, где традиционные подходы сталкиваются с ограничениями, такими как локальные минимумы [3].

Принцип работы генетического алгоритма заключается в моделировании эволюции популяции решений, представленных в виде хромосом. Каждый индивид (хромосома) кодирует параметры решения, а их приспособленность оценивается с использованием целевой функции. Алгоритм включает следующие этапы:

- инициализация популяции — создаются случайные решения;
- оценка приспособленности — каждое решение оценивается с использованием целевой функции;
- отбор — лучшие индивиды выбираются для создания нового поколения;
- скрещивание — генерируются новые решения путём комбинирования хромосом родителей;



- мутация — вносятся случайные изменения для поддержания разнообразия популяции.

Математически процесс можно представить, как итеративное обновление популяции:

$$P^{(t+1)} = \text{Selection}(P^{(t)}, F) + \text{Crossover}(P^{(t)}) + \text{Mutation}(P^{(t)}) \quad (22)$$

где $P^{(t)}$ — популяция на итерации t .

Эффективность генетических алгоритмов обеспечивается их способностью исследовать большие пространства решений, избегая локальных минимумов. В строительстве они применяются для оптимизации топологии конструкций (ферм и арочных конструкций и др.), выбора состава бетонной смеси для достижения заданных механических характеристик, а также планирования графиков строительства с учётом ограничений [28-29].

Нечёткая логика, основанная на концепции размытых множеств, была предложена Лотфи Заде в 1965 году как способ моделирования неопределённости и неоднозначности. Данный подход возник в ответ на потребности анализа систем, где точные данные недоступны, а решения принимаются на основе неполной или приблизительной информации. Став одной из ключевых технологий анализа данных, нечёткая логика широко используется в задачах управления, классификации и принятия решений [21].

Основой нечёткой логики является представление данных через функции принадлежности, которые отображают степень, с которой элемент x принадлежит нечёткому множеству A . Функция принадлежности $\mu_A(x)$ принимает значения от 0 до 1:

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (23)$$

где $\mu_A(x)=1$ — полное соответствие элемента x множеству A ; $\mu_A(x)=0$ — отсутствие принадлежности; $0 < \mu_A(x) < 1$ — частичное соответствие.

Применяя логические операции, такие как пересечение, объединение и дополнение, нечёткая логика позволяет строить системы правил, описывающих сложные процессы. Например, если трещина в конструкции оценивается по параметрам глубины x_1 и ширины x_2 , то правила могут быть сформулированы следующим образом [21]:

«Если ширина трещины большая и глубина трещины значительная, то дефект критичен»;

«Если ширина трещины умеренная и глубина трещины малая, то дефект незначителен».

Данные правила преобразуются в математические выражения с использованием функций принадлежности, определяющих степень выполнения каждого условия.

В строительной практике нечёткая логика может активно использоваться для оценки риска, диагностики и управления. Например, она применяется для анализа эксплуатационных характеристик конструкций, где параметры, такие как влажность, тем-

пература, имеют неопределённые значения. Дополнительно нечёткая логика способствует оптимизации проектных решений, учитывая размытые параметры, такие как качество материалов или прогнозируемые изменения внешней среды.

К числу преимуществ нечёткой логики можно отнести способность работать с неполными или противоречивыми данными, а также гибкость при моделировании сложных систем. Однако разработка модели требует тщательной настройки функций принадлежности и правил, что может значительно усложнить процесс. Более того, метод оказывается наиболее эффективным в задачах среднего уровня сложности, тогда как для высокоточных вычислений предпочтительнее использовать альтернативные подходы.

Таким образом, нечёткая логика, сочетая простоту реализации и значительный аналитический потенциал, остаётся важным инструментом для моделирования неопределённости и автоматизации процессов. Её применение особенно актуально в таких областях, как управление строительными проектами, диагностика и прогнозирование задач с размытыми итоговыми результатами, то есть управления/принятия решения.

Краткий анализ самых распространённых методов машинного обучения демонстрирует их разнообразие и важность применения для разносторонних задач, включая проектирование, эксплуатацию и мониторинг строительных объектов. Однако выбор метода машинного обучения для решения конкретной задачи должен производиться на основании анализа достоинств и недостатков ML.

4. Достоинства и недостатки применения машинного обучения в строительной отрасли. Сочетание различных методов машинного обучения создаёт мощный инструмент для решения задач в строительной отрасли, а их применение приведет к повышению качества проектных решений, снижению эксплуатационных рисков и оптимизации затрат на возведение и эксплуатацию зданий. Однако в строительной отрасли приходится решать большое количество разнообразных задач в области изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации, а каждый из методов машинного обучения имеет свои особенности. В связи с этим был произведен анализ достоинств и недостатков методов машинного обучения с позиции их использования для решения задач строительной отрасли.

К достоинствам машинного обучения можно отнести:

- *Эффективность и производительность.*

Ускоряя анализ мониторинговых данных и распределяя ресурсы, методы машинного обучения уменьшают затраты времени на обработку и оценку ключевых показателей. Повышается точность, сокраща-



ются издержки, упрощается управление сложными проектами.

- *Качество и снижение ошибок.* Прогнозируя потенциальные дефекты на начальных этапах, современные алгоритмы предотвращают аварийные ситуации и снижают риск, связанный с человеческим фактором.

- *Сокращение затрат.* Точное прогнозирование расхода материалов помогает исключить перерасходы, а автоматизация планирования и логистики способствует выполнению графиков.

- *Поддержка принятия решений.* Обработка большие массивы сведений, методы ML предоставляют обоснованные рекомендации для анализа прочности конструкций, контролируя возможные отказы.

- *Инновации и новые возможности.* Используя генеративный дизайн и интеллектуальные системы управления, специалисты в строительстве увеличивают энергоэффективность объектов и совершенствуют ТИМ-процессы.

Недостатки машинного обучения:

- *Качество данных.* Нехватка хорошо структурированных наборов, а также неравномерное качество исходных данных усложняют обучение моделей.

- *Внедрение и интеграция.* Затратность технологий, потребность в подготовленных специалистах и длительные сроки реализации препятствуют массовому внедрению.

- *Ограничения моделей.* Глубокие нейронные сети нередко трудно интерпретировать, а устойчивость алгоритмов к резким изменениям входных параметров требует постоянного контроля.

- *Выбор технологий и стандартов.* Отсутствие единых стандартов оценки ML-решений усложняет интеграцию в информационные системы, повышая риск сбоев и требуя дальнейшей проработки вопросов этики.

Для реализации машинного обучения существует большое количество различных методов, о которых говорилось выше, каждый из которых в свою очередь имеет свои достоинства и недостатки. Анализ особенностей каждого из рассмотренных в данной статье методов приведен в Табл. 1.

Проведённый анализ достоинств и недостатков методов машинного обучения для решения конкретной группы задач в области строительства показал, что одни методы ML дают лучшие результаты, тогда как другие оказываются менее эффективными. В связи с этим авторами статьи была разработана классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

Таблица 1. Достоинства и недостатки применения различных методов машинного обучения

Метод	Достоинства	Недостатки
Линейная регрессия	Простота реализации, низкая вычислительная сложность, удобство интерпретации.	Ограничения при решении нелинейных задач, чувствительность к разбросу данных, необходимость нормализации.
Логистическая регрессия	Вероятностная трактовка, высокая точность в бинарных задачах, стабильность при небольших выборках.	Сложности с многопараметрическими задачами, зависимость от сбалансированных и предварительно обработанных данных, ограниченная масштабируемость.
Метод опорных векторов (SVM)	Высокая точность, гибкость за счёт ядерных функций, эффективность при большом числе параметров.	Значительная вычислительная сложность, трудности с настройкой гиперпараметров, сложность интерпретации результатов.
Дерево решений	Высокая интерпретируемость, способность обрабатывать различные типы данных, устойчивость к пропускам.	Склонность к переобучению, чувствительность к изменению входных данных, невысокая точность для сложных задач.
Случайный лес	Высокая точность, устойчивость к внешним факторам, информативный анализ важности признаков.	Значительные вычислительные затраты, трудности с интерпретацией, необходимость тонкой настройки гиперпараметров.
Градиентный бустинг	Высокая точность, эффективность при малых наборах данных, гибкие настройки.	Чувствительность к внешним факторам, большая вычислительная сложность, требовательность к параметрам алгоритма.
Ансамблевые методы	Высокая производительность, способность работать с пропусками, универсальность.	Высокие требования к ресурсам, сложность интерпретации результатов, значимая роль точной настройки.
Методы кластеризации	Возможность обнаруживать скрытые группы, работа без размеченных данных, устойчивость при наличии нерелевантных признаков.	Сильная зависимость от начальных параметров, чувствительность к масштабированию данных, сложность при работе с крупными наборами.
Метод главных компонент (PCA)	Упрощение анализа благодаря уменьшению размерности, устранение корреляций между исходными признаками.	Частичная потеря информации при значительном сокращении числа компонент, трудность при трактовке новых осей.
Искусственные нейронные сети	Высокая точность, универсальность при работе с неструктурированными данными, адаптивность к разным задачам.	Требовательность к ресурсам и объёму данных, сложность интерпретации, длительное обучение.
Генетические алгоритмы	Гибкость, поиск глобальных оптимумов, эффективность при многокритериальных задачах.	Значительные вычислительные затраты, продолжительное время выполнения, сложность корректной настройки параметров эволюции.
Нечёткая логика	Возможность учитывать неопределённости, простая интеграция в существующие системы, реализация сложных процессов.	Неполная масштабируемость, сложная настройка базы правил, меньшая точность относительно обучаемых методов.



5. Классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Выбор конкретного метода машинного обучения определяется в первую очередь:

- спецификой решаемой задачи (прогноз прочности, оптимизация ресурсных затрат, распознавание дефектов);
- характеристиками доступных данных (числовой формат, текстовая документация, изображения, объём выборки);
- требуемой степени интерпретируемости (часто нормативы требуют объяснений расчётных результатов);

веденный в СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве».

Данная классификация предоставляет специалистам возможность ориентироваться в выборе метода машинного обучения в зависимости от конкретной задачи и может оказаться полезной как практикующим инженерам, занятым внедрением методов автоматизации проектирования и анализа данных, так и исследователям, продолжающим развивать теоретические аспекты ТИМ, роботизированного строительства и эксплуатации объектов. Однако следует отметить, что данная классификация формирует лишь отправную точку, так как на практике выбор алгоритма бывает обусловлен ещё и доступными ин-

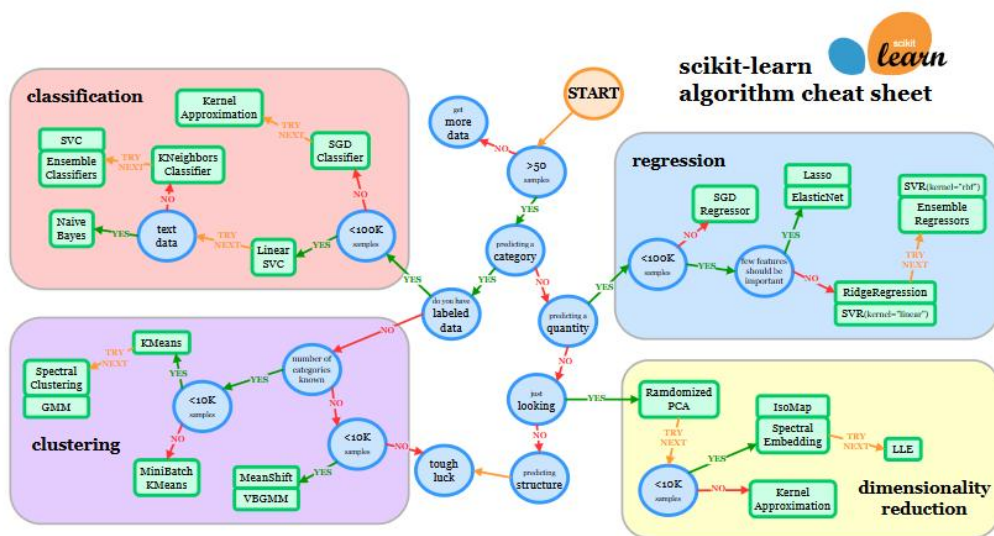


Рис. 3. Диаграмма выбора алгоритма машинного обучения [25]

• допустимыми погрешностями и скоростью вычислений.

Дополнительным ориентиром для предварительного выбора служит «Диаграмма выбора алгоритма машинного обучения», предложенная в библиотеке scikit-learn (Рис. 3), где задаётся базовая логика: если входные данные размечены (классификация), если требуется количественная оценка (регрессия), если данные без меток (кластеризация), а если присутствует временная зависимость (рекуррентные сети) и т. д. Разумеется, в строительстве, где велика роль нормативных ограничений, окончательное решение может включать комбинацию методов.

С целью упрощения выбора метода машинного обучения для определенной задачи в области строительства была разработана классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, таблица 2.

За основу классификации был взят жизненный цикл объекта капитального строительства, при-

струментами (программными пакетами), и временем, которым располагают проектировщики для отладки моделей (Табл. 2).

Окончательный выбор алгоритма определяется не только формальным соответствием постановке задачи (регрессия vs. классификация vs. кластеризация), но и характеристиками доступных данных. Если данные разнородны (фотосъёмка трещин, табличные показатели из мониторинга, текстовая нормативная документация), возможно, потребуются гибридная архитектура или ансамбль разноплановых методов.

Таким образом, проведённая систематизация и разработанная классификация методов машинного обучения в контексте жизненного цикла объекта капитального строительства создаёт основу для рационального внедрения новых технологий в строительную отрасль. Большинство существующих инструментов машинного обучения уже доказали свою эффективность в смежных областях (промышленное производство, транспорт, логистика), а в строительстве, где практические задачи часто отличает высо-



Таблица 2. Классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства

Классификационные признаки					
По этапу жизненного цикла ОКС	По составляющим этапам жизненного цикла	По решаемым задачам (с помощью ML)	По методу машинного обучения	По цели использования машинного обучения	
1. Инженерные изыскания	1.1. Геодезические и топографические изыскания	1.1.1 Группировка данных по территориям	Ансамблевые методы, Кластеризация (k-Means)	Оптимизация объёмов полевых работ, снижение ошибок при разбивке осей и определении габаритов, повышение точности проектной привязки	
		1.1.2 Анализ топографических аномалий	Random Forest, GradientBoosting		
	1.2. Геологические (геотехнические) изыскания	1.2.1 Учёт неопределённости в свойствах грунта	Нечёткая логика	Своевременное выявление проблемных зон, сокращение рисков при проектировании фундамента, повышение надёжности конструкций	
		1.2.2 Прогноз изменения характеристик грунта	Ансамблевые методы		
		1.2.3 Количественная оценка перерасхода бюджета при сложных геологических условиях	Регрессия, PCA		
	1.3. Гидрологические и гидрогеологические изыскания	1.3.1 Выделение групп зон риска по глубине залегания вод	Кластеризация	Снижение вероятности аварий, защита от подтопления, оптимизация затрат на дренажные/гидроизоляционные мероприятия	
		1.3.2 Многопараметрический прогноз гидрологических факторов	Ансамблевые методы		
	1.4. Экологические и климатические изыскания	1.4.1 Прогноз климатических изменений	Регрессия, Time-Series	Уточнение проектных решений под местные условия, учет природных факторов, оптимизация «зелёного» строительства	
		1.4.2 Анализ «размытых» критериев экологических рисков	Нечёткая логика		
	2. Архитектурно-строительное проектирование	2.1. Архитектурное проектирование	2.1.1 Перебор вариантов планировок	Генетические алгоритмы, эволюционные стратегии	Создание концепций, сочетающих эстетические, функциональные и конструктивные критерии; сокращение времени на ручной перебор решений
			2.1.2 Оценка визуальной эстетики, если есть эталонные примеры	NN	
		2.2. Конструктивное проектирование	2.2.1 Аппроксимация сложных расчётных зависимостей	NN	Повышение точности расчётов, снижение перерасхода материалов, ускорение этапа проектирования
2.2.2 Определение приоритетных вариантов			Ансамблевые методы		
2.2.3 Агрегирование размытых критериев выбора (стоимость, прочность, долговечность)			Нечёткая логика		
2.3. Разработка проектной документации		2.3.1 Анализ технического задания	NN	Сокращение времени оформления документации, минимизация ошибок при формировании спецификаций, унификация решений	
		2.3.2 Помощь в подборе оптимальных конструктивных решений	NN, эволюционные алгоритмы		
		2.3.3 Формирование спецификации и пояснительной записки	Ансамблевые методы, NN		
2.4. Экспертиза проектных решений		2.4.1 Поиск потенциальных аномалий или ошибок в проекте	Ансамблевые методы	Сокращение сроков экспертизы, уменьшение вероятности отклонения проекта, повышение прозрачности корректировок	
		2.4.2 Анализ больших текстовых блоков норм	Логистическая регрессия		
		2.4.3 Группировка типовых нарушений и коллизий в проектах смежных разделов	Кластеризация, NN		
2.5. Разработка рабочей документации		2.5.1 Помощь в автогенерации отдельных элементов чертежа	NN	Ускорение перехода от проектных решений к рабочим чертежам, снижение ручных ошибок при специфицировании	
	2.5.2 Проверка полноты/логичности детализации чертежей, спецификаций	Ансамблевые методы			
3. Строительство (включая ввод в эксплуатацию и возможную консервацию)	3.1. Подготовительный период	3.1.1 Прогноз стоимости и сроков работ в целом и на отдельных захватках в частности	Линейная регрессия, глубокие NN	Минимизация сбоев поставок материалов, соблюдение сроков, сокращение затрат, повышение уровня безопасности	
		3.1.2 Оценка рисков задержек поставок материалов или срывов сроков производства работ	Random Forest		



Продолжение табл. 2

Классификационные признаки						
По этапу жизненного цикла ОКС	По составляющим этапам жизненного цикла	По решаемым задачам (с помощью ML)	По методу машинного обучения	По цели использования машинного обучения		
		3.1.3 Оптимизация распределения строительной техники	SVM, Random Forest	Своевременное выявление отклонений, снижение брака, оптимизация расхода материалов и труда		
		3.1.4 Составление сетевого планирования производства работ	Регрессия			
	3.2. Основная стадия возведения	3.2.1 Автоматизированный визуальный контроль (фото сварных соединений, армирования)	NN, PCA			
		3.2.2 Анализ производственных выявленного брака на различных этапах строительства	Ансамблевые методы			
		3.2.3 Планирование фронта работ для отдельных бригад	Кластеризация			
	3.3. Ввод в эксплуатацию	3.3.1 Определение «готовности» по заданным критериям	DecisionTrees / RandomForest		Формализованный выпуск документации, сокращение времени прохождения приёмки, обеспечение безопасности	
		3.3.2 Оценка вероятности несоответствия проекту	Логистическая регрессия			
	3.4. Консервация (при необходимости)	3.4.1 Оценка экономической целесообразности «заморозки»	Логистическая регрессия		Сокращение убытков при вынужденном перерыве, предотвращение повреждений, сохранение материалов	
		3.4.2 Прогноз затрат на поддержание	Ансамблевые методы			
		3.4.3 Планирование комплекса мероприятий по «заморозке»	NN, дерево решений			
	4. Эксплуатация	4.1. Содержание и обслуживание	4.1.1 Анализ временных данных (прогибы, температурные колебания)		NN	Сокращение риска аварий, оптимизация расходов на обслуживание, повышение энергоэффективности, продление ресурса объекта
			4.1.2 Прогноз износа инженерного оборудования		Ансамблевые методы	
4.1.3 Определение пороговых состояний (размытый критерий для начала ремонта)			Нечёткая логика			
4.2. Мониторинг объекта и текущие ремонты		4.2.1 Визуальный анализ, через «умные» устройства (детекция дефектов)	NN	Своевременная ликвидация мелких дефектов, продление срока службы без затрат на крупные ремонты, поддержание комфортных условий для пользователей		
		4.2.2 Оценка эффективности ремонтных работ	Линейная или логистическая регрессия			
		4.2.3 Приоритезация ремонтов, если много сигналов (заявок)	Ансамблевые методы			
5. Реконструкция	5.1. Обследование и оценка состояния объекта	5.1.1 Группировка дефектов, классификация по степени опасности	Линейная или логистическая регрессия	Продление эксплуатации при изменённых условиях, минимизация неоправданных затрат, сохранение безопасности		
		5.1.2 Прогноз влияния реконструкции на общую прочность	Ансамблевые методы			
		5.1.3 Принятие решений по усилению при частичных/скрытых повреждениях конструкций	Нечёткая логика			
	5.2. Перепланировка помещений и усиление несущего остова здания	5.2.1 Оптимизация схем или мероприятий по усилению конструкций	Генетические алгоритмы, эволюционные стратегии	Увеличение функциональности, адаптация к новым нормативам, продление срока службы, повышение экономической эффективности		
		5.2.2 Анализ влияния экономических и технических факторов	Нечёткая логика			
5.2.3 Расчёт сложных нелинейных зависимостей при новом расположении нагрузок после усиления		NN				
6. Капитальный ремонт	6.1. Объём и содержание капремонта	6.1.1 Составление ведомости объёма работ	NN, Ансамблевые методы	Своевременная реализация капремонта, продление ресурса без полной перестройки, снижение аварийных рисков		
		6.1.2 Учёт размытости критериев, предъявляемых к объекту	Нечёткая логика			



Окончание табл. 2

Классификационные признаки				
По этапу жизненного цикла ОКС	По составляющим этапу жизненного цикла	По решаемым задачам (с помощью ML)	По методу машинного обучения	По цели использования машинного обучения
	6.2. Выполнение работ и контроль	6.1.3 Прогноз финансирования и сроков проведения работ	NN, Ансамблевые методы	Обеспечение требуемого качества ремонтных операций, минимизация нарушений технологии, оптимизация расходования средств
		6.2.1 Контроль соответствия прочностным характеристикам конструкций заявленным 6.2.2 Производство технологического аудита (вероятность отклонения)	SVM, Random Forest Логистическая регрессия	
7. Снос (утилизация / ликвидация)	7.1. Подготовка к демонтажу	7.1.1 Выбор наилучшего сценария демонтажа (учёт конструктивных и экономических факторов)	Дерево решений	Повышение уровня безопасности, сокращение временных и финансовых издержек
		7.1.2 Оптимизация движения/действий машин	Эволюционные алгоритмы	
	7.2. Основной демонтаж	7.2.1 Группировка строительных отходов по типам	Регрессия	Безопасное и контролируемое уничтожение объекта, рациональное использование трудовых и технических ресурсов, минимизация вреда окружающей среде
		7.2.2 Прогноз затрат и возможного дохода от вторсырья	Градиентный бустинг	
		7.2.3 Управление роботизированными комплексами	NN	
	7.3. Утилизация и переработка	7.3.1 Учёт размытых критериев экономической целесообразности	Нечёткая логика	Сокращение экологического ущерба, повышение рентабельности путём вторичного использования, упорядоченная сортировка, формирование «зелёных» подходов
		7.3.2 Моделирование оптимальных схем переработки	NN	
		7.3.3 Анализ динамики цен на вторсырьё или конструкций	Ансамблевые методы	

кая вариабельность условий и жёсткая регламентация нормативами, правильный подбор методов становится ключевым фактором успешной цифровой трансформации строительной сферы.

6. Перспективы развития машинного обучения в строительной отрасли. Перспективы дальнейшего развития методов машинного обучения охватывают совершенствование существующих алгоритмов, а также интеграцию с новыми технологиями, включая робототехнику, искусственный интеллект и киберфизические системы (Cyber-Physical Systems, CPS).

Развиваясь, современные методы прогнозирования и анализа данных, применяемые в сфере строительства, получают повышенную адаптивность и точность [29]. Градиентный бустинг и нейронные сети, усложняясь, обрабатывают более многомерные данные, что позволяет рассчитывать износ конструкций и оптимизировать конфигурации зданий. Формируясь на стыке разных подходов, гибридные модели повышают точность и снижают риск ошибок, особенно при анализе крупных объёмов информации.

Внедряясь в управление строительными площадками и городской инфраструктурой, алгоритмы машинного обучения обеспечивают автоматизацию сложных процессов. Интеграция с роботизированными системами, включая платформы обучения роботов с подкреплением (reinforcement learning), способствует адаптации к динамично изменяющимся

условиям. Роботизированные решения, оснащённые ML-модулями, уже применяются для земляных работ, транспортировки материалов и проведения контроля качества монтажных работ, повышая безопасность и эффективность строительных проектов.

Современные подходы к созданию «умных зданий» и «умных городов» дополнительно усиливают значимость машинного обучения. Адаптивные алгоритмы, анализируя данные мониторинга, энергопотребления и нагрузки на инженерные системы, поддерживают проекты экологичного строительства. Уменьшение эксплуатационных затрат и повышение комфорта для пользователей зданий становятся достижимыми за счёт прогнозирования энергетических и эксплуатационных параметров и оптимизации режимов работы инженерных систем в реальном времени.

Синергия машинного обучения и технологий информационного моделирования (ТИМ) формирует ещё один вектор развития. Интегрируясь с трёхмерными моделями, такие алгоритмы ускоряют расчёты, помогают прогнозировать изменения эксплуатационных характеристик и совершенствуют управление жизненным циклом здания. Функционал искусственного интеллекта внутри ТИМ-платформ улучшает согласование проектов, повышает качество документации, минимизирует риск ошибок при реализации проектов.



Усиливаясь за счёт глубокого обучения, машинное обучение находит применение в анализе изображений и потоков данных, поступающих от дронов и датчиков. Сверточные искусственные нейронные сети автоматически выявляют дефекты и отклонения от проектных решений, функционируя в режиме реального времени и повышая точность инспекций. Такой подход сокращает затраты на исправление ошибок и помогает предотвратить аварийные ситуации.

Интеграция машинного обучения с интеллектуальными системами активно развивается, формируя единые программно-аппаратные платформы для непрерывного анализа и принятия решений на основе данных, поступающих от многочисленных датчиков. Эти платформы (Дата-центров) могут включать в себя модули для обработки сигналов (температуры, влажности, давления и др.), а также для анализа видеопотоков или фотоснимков (например, с камер дронов или установленных на объекте). Интеллектуальные системы, оснащённые алгоритмами ML, не просто собирают информацию, но и способны в режиме реального времени выявлять аномалии, предсказывать вероятность возникновения неполадок и выдавать рекомендации по оптимизации.

В контексте строительной отрасли подобные платформы нередко интегрируются с ТИМ, обеспечивая обновление цифровых двойников здания или сооружения в режиме реального времени. Благодаря этому инженеры и специалисты получают возможность оперативно вносить корректировки в проектные решения, контролировать качество монтажных операций и оперативно реагировать на изменения в условиях эксплуатации. Ключевым преимуществом является сочетание данных из разных источников (геодезических датчиков, сенсоров напряжённо-деформированного состояния, систем видеонаблюдения, погодных станций и др.), что позволяет алгоритмам ML формировать более точную картину текущих процессов.

Подобные интеллектуальные платформы могут охватывать не только проектную и строительную стадию, но и период эксплуатации: отслеживая параметры климата внутри здания (температуру, влажность, CO₂), они автоматически корректируют работу инженерных систем (отопления, вентиляции, кондиционирования) на основе прогнозных моделей машинного обучения. В результате повышается энергоэффективность, снижается риск аварий и устраняются мелкие дефекты на ранних стадиях, до их перерастания в масштабные проблемы.

Параллельно возрастает роль облачных технологий: данные с локальных датчиков передаются в облачный сервис, где сильные вычислительные мощности обрабатывают, анализируют и обучают аналитические модели. Регулярное обновление таких моделей по мере накопления новых данных обеспечивает постоянную адаптацию к реальным условиям строи-

тельной площадки или уже эксплуатируемого объекта. В итоге формируется замкнутый цикл «сбор данных → интеллектуальная обработка → принятие решений → корректировка процессов», позволяющий существенно повысить надёжность и экономическую эффективность любого строительного проекта.

В настоящее время назрела необходимость создания единого стандарта, регулирующего использование машинного обучения, для более успешной интеграции данного инструмента в строительную отрасль. Универсальные форматы данных, методики верификации и общие требования к совместимости повышают эффективность совместной работы разнородных команд, таких как инженерные, аналитические и программистские группы. Подобная практика усиливает конкурентные позиции проектных и строительных компаний, позволяя создавать объекты и проекты нового поколения. Это позволит быстрее трансформировать строительную отрасль, повышая продуктивность и надёжность, снижая затраты и формируя инновационные пути цифрового развития. Формирующиеся технологии и комплексные решения в будущем позволят перейти на совершенно новый уровень управления и мониторинга объектов на всех этапах их жизненного цикла.

7. Выводы. Рассматривая сущность машинного обучения, анализируя исторические предпосылки и выделяя базовые направления (статистические, алгоритмические, эволюционные, глубокое обучение), следует отметить значительный потенциал интеллектуальных алгоритмов при решении сложных инженерных задач в строительстве. Используя математические модели и вычислительные подходы, специалисты получают возможность автоматизировать процесс проектирования, контролировать качество возведения сооружений и прогнозировать износ конструкций, повышая надёжность и экономическую эффективность проектов.

Следует отметить, что каждый метод машинного обучения обладает своими преимуществами и ограничениями, и универсального «лучшего» алгоритма не существует. Выбор делается на основании специфики задачи (характер данных, требуемая интерпретируемость, доступные ресурсы, необходимость учёта временной или пространственной структуры). Именно поэтому классификация методов машинного обучения применительно к решаемым задачам на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, представленная в данной работе, поможет профессионалам строительной отрасли ориентироваться в многообразии технологий машинного обучения и применять их в соответствии с целями и условиями конкретного этапа жизненного цикла объекта капитального строительства.

Машинное обучение, являясь частью искусственного интеллекта, всё активнее внедряется в



строительную практику, способствуя цифровой трансформации отрасли. Данный процесс становится практически необратимым ввиду растущих требований к качеству, надёжности и экономической эффективности строительства.

Библиографический список

1. Тьюринг А. Вычислительные машины и разум // *Mind*. – 1950. – № 59 (236). – С. 433–460.
2. Фридман Дж. Stochastic Gradient Boosting // *Computational Statistics and Data Analysis*. – 2001. – Vol. 38. – P. 367–378.
3. Заде Л. А. Понятие нечётких множеств // *Information and Control*. – 1965. – Т. 8, № 3. – С. 338–353.
4. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики: Перцептрон и теория мозга // *Cornell Aeronautical Laboratory*. – 1958. – № 119.
5. Холланд Дж. Принципы эволюционных вычислений // *Evolutionary Computation*. – 1975. – Т. 1. – С. 5–12.
6. Брейман Л. Random Forests // *Machine Learning*. – 2001. – Vol. 45, Issue 1. – P. 5–32.
7. Иванов В. И., Кулиш К. А., Сидоров Н. К. Внедрение методов машинного обучения в анализ несущей способности железобетонных конструкций // *Строительная механика и проектирование*. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 15–24. DOI: 10.1234/12345.
8. Тормазян А. Л., Петров К. В., Гончаров М. Н. Применение эволюционных алгоритмов для оптимизации железобетонных балок // *Инженерные технологии в строительстве*. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 12–19. DOI: 10.1234/67890.
9. Moeini S., Rasouli A., Samali B. Hybrid models for structural monitoring of high-rise buildings using computer vision and machine learning // *Smart Materials and Structures*. – 2019. – Vol. 28, Issue 3. – P. 035009. DOI: 10.1088/1361-665X/aaf9d5.
10. Smith J. D., Brown P. S., Johnson R. Automated visual damage recognition in reinforced concrete beams using deep neural networks // *Journal of Structural Engineering*. – 2021. – Vol. 147, Issue 6. – P. 1025–1038. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002962.
11. Probst P., Wright M. Machine Learning in R: Applications for Construction and Civil Engineering // *Journal of Computational Engineering*. – 2019. – Vol. 6, Issue 4. – P. 75–92. DOI: 10.1111/jce.2019.004.
12. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital Twin: A Comprehensive Survey on Enabling Technologies, Challenges, and Future Prospects // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 21980–22012. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2970143.
13. Autodesk Generative Design: Overview and Capabilities. – Autodesk Research. [Электронный ресурс]. – URL: <https://autodesk.com/research> (дата обращения: 25.12.2024).
14. Caterpillar Autonomous Mining Equipment: Machine Learning Applications // *Caterpillar White Papers*. – 2018. – 12 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.caterpillar.com> (дата обращения: 25.12.2024).
15. Brown A. J., Wilkes J. H., Harris P. Artificial Intelligence in Smart Cities: A Case Study Approach // *Urban Computing*. – 2018. – Vol. 7, Issue 2. – P. 125–135. DOI: 10.1007/s11036-018-1001-2.
16. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital Twin: A Comprehensive Survey on Enabling Technologies, Challenges, and Future Prospects // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 21980–22012. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2970143.
17. Никрэвеш М., Азаде А., Заде Л. Мягкие вычисления и интеллектуальные системы в строительстве и производстве // *Computational Intelligence*. – 2005. – Т. 4, № 3. – С. 18–28. DOI: 10.1109/CI.2005.0141.
18. Autodesk Generative Design: Overview and Capabilities. – Autodesk Research. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autodesk.com/research> (дата обращения: 25.12.2024).
19. Caterpillar Autonomous Mining Equipment: Machine Learning Applications // *Caterpillar White Papers*. – 2018. – 12 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.caterpillar.com> (дата обращения: 25.12.2024).
20. Nikravesh M., Zadeh L., Lotfi A. Fuzzy Logic in Construction Decision-Making Systems // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2005. – Vol. 152, Issue 1. – P. 50–68. DOI: 10.1016/j.fss.2004.10.003.
21. Kotsiantis S., Zaharakis I., Pintelas P. Machine Learning: A Review of Classification and Combining Techniques // *Artificial Intelligence Review*. – 2007. – Vol. 26, Issue 3. – P. 159–190.
22. Карпов А. И., Лебедев М. В., Сидоренко Т. С. Методы кластеризации в мониторинге конструкций // *Строительная информатика*. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 33–40.
23. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Основы теории опорных векторов и их применение в задачах классификации // *Журнал вычислительных методов*. – 1963. – Т. 6. – С. 56–72.
24. Шалагинов А. AI Ops: Интеллектуальные операции ИТ // *Shalaginov.com*. – 2021. – 11 авг. – Режим доступа: <https://shalaginov.com/2021/08/11/aiops/> (дата обращения: 25.12.2024).
25. Scikit-learn: Machine Learning Map [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/tutorial/machine_learning_map/index.html (дата обращения: 25.12.2024).
26. <https://chatgpt.com/> – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chatgpt.com/> (дата обращения: 25.12.2024).
27. <https://fusionbrain.ai/> – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fusionbrain.ai/> (дата обращения: 05.01.2024).
28. Тамразян А. Г. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций / А. Г. Тамразян, А. В. Алексейцев // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2019. – № 9. – С. 45–50. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.45-50. – EDN CBTHUL.
29. Алексейцев А. В. Научные основы оптимизации железобетонных конструкций с использованием генетических алгоритмов: специальность 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Алексейцев Анатолий Викторович, 2021. – 481 с. – EDNGMVSGI.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 691.327:620.193

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_1_172

СОСТОЯНИЕ ШЛЮЗОВЫХ И ПРИПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ

© Авторы 2025
SPIN: 6626-3274

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

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

ШАТАЛОВА Ольга Сергеевна

аспирант
Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск)

ЧЕСНОКОВ Роман Александрович

аспирант
Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск)

Аннотация. Бетонные речные сооружения шлюзовых и припортовых объектов подвергаются интенсивному разрушению, основными причинами которых являются: попеременное увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии, воздействие агрессивных сред, механические истирающие и ударные нагрузки в период ледохода и др. В статье представлены результаты обследования состояния бетона различных объектов шлюзовых и припортовых сооружений. Определены основные причины и сделаны предложения по эффективным приемам обеспечения качества бетона.

Ключевые слова: шлюзовые и припортовые сооружения; разрушение бетона; коррозия бетона; пористость; водопоглощение; остаточная прочность бетона; строительная механика

Для цитирования: Пичугин А.П., Шаталова О.С., Чесноков Р.А. Состояние шлюзовых и припортовых сооружений и пути повышения их эксплуатационной надёжности // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 172-177. doi:10.51608/26867818_2025_1_172.

Original article

THE STATE OF GATEWAY AND DOCK-SIDE CONSTRUCTIONS AND WAYS TO IMPROVE THEIR SERVICE RELIABILITY

© The Author(s) 2025

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Novosibirsk State Agrarian University
(Russia, Novosibirsk, e-mail: gmunsau@mail.ru)

SHATALOVA Olga Sergeevna

PhD Candidate
Novosibirsk State Agrarian University
(Russia, Novosibirsk)

CHESNOKOV Roman Alexandrovich

PhD Candidate
Novosibirsk State Agrarian University
(Russia, Novosibirsk)



Abstract. The concrete river structures of gateway and dock-side facilities are subject to intensive destruction. The main causes of which are alternating wetting and drying, freezing and defrosting in water saturated state, exposure to aggressive media, mechanical wear and impact loads during ice skating, etc. The article presents the results of a survey of the state of concrete of various gateway and dock-side facilities. The main reasons and proposals for effective concrete quality assurance techniques are summarized.

Keywords: gateway and dock-side constructions; concrete destruction; concrete corrosion; porosity; water absorption; residual strength of concrete; construction mechanics

For citation: Pichugin A.P., Shatalova O.S., Chesnokov R.A. The state of gateway and dock-side constructions and ways to improve their service reliability // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 172-177. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_172.

Шлюзовые и припортовые бетонные сооружения чаще всего представляют собой каналы или стенки, ограниченные днищем и вертикальными или наклонными стеновыми ограждениями. Они имеют различные формы и размеры в зависимости от вида, тоннажа и размера проводимых через них судов. Кроме того, на конструкцию шлюзовых камер влияют такие важные факторы, как перепад высот между уровнем верхнего бьефа и уровнем нижнего бьефа. Различают камеры по очертаниям поперечного сечения, стены которого могут быть вертикальными, откосными и полуоткосными. В нашей стране последние десятилетия возводятся камеры с вертикальными или полуоткосными стенами, что позволяет меньше расходовать воды на шлюзование и ускорять пропуск судов. Кроме того, в данном случае соблюдаются требования к безопасности проводимых судов. Существуют специфические особенности формирования шлюзовых каналов, связанные, в основном, с днищем каналов, которые могут быть сплошными водонепроницаемыми, с разрезанными продольными швами или полностью водопроницаемыми. Также шлюзовые каналы разнятся по расположению водопроводных галерей и высоте обратных засыпок за стенами, которые могут быть полными и неполными.

Вне зависимости от вида бетонного шлюзового сооружения все они подвержены ряду различных воздействий, в т.ч. как климатического, так и технологического характера. К технологическим воздействиям относятся завихрения водных потоков, вызывающие напряжения и разрушения материала стен и днища камер при кавитации; удары стальных корпусов о стенки каналов, постоянные попеременные замачивания и высушивания, наличие различных примесей в водной среде и пр. Климатические и природные воздействия намного интенсивнее, т.к. проявляются практически с момента возведения шлюзовых камер. К ним относятся постоянные изменения температуры от плюсовых до отрицательных, местный нагрев от солнечной радиации, приводящий к перегреву внешней поверхности бетона; замораживание и оттаивание в зимнее время; пропуск паводков, льда и речных наносов. Всё это приводит

к возникновению внутренних напряжений, разрушающих стенки пористой структуры бетона и снижающих прочность контакта между затвердевшим минеральным вяжущим (цементом) и заполнителем.

Существующие и возникающие в ходе эксплуатации дефекты в структуре бетонных объектов приводят к расширению микротрещин и проникновению в пористую структуру семян и спор биологических разрушителей бетона, которые во влажной среде начинают проявлять свою бурную активность. Под воздействием комплекса активных биотических (живых) и абиотических (неживых) факторов бетонные массивы начинают интенсивно разрушаться. Особенно интенсивное разрушение микроорганизмами отмечается при воздействии грибов, которые в качестве энергетической среды выбирают составляющие цементного камня. При этом разрушению подвергается не только граничный слой бетона, но и близлежащие массивы подвергаются изменению физико-механических и физико-химических показателей. Отличительной способностью биологических разрушителей бетона является их уникальная способность к выживанию в любых климатических условиях, в т. ч. при низкой отрицательной или высокой положительной температуре. Однако, при наступлении благоприятных условий рост и активность их возобновляется. С ростом микроорганизмов отмечается их активная фаза и интенсивное размножение, что приводит к более разрушительным и деградиционным процессам бетона [1-6].

Таким образом, разрушение бетона шлюзовых и припортовых бетонных объектов носит накопительный характер. Поэтому для сохранения этих сооружений требуется особый комплексный подход, способствующий длительному обеспечению сохранности бетона и предотвращению негативного влияния как эксплуатационных, так и климатических факторов, включая нейтрализацию биологических разрушителей.

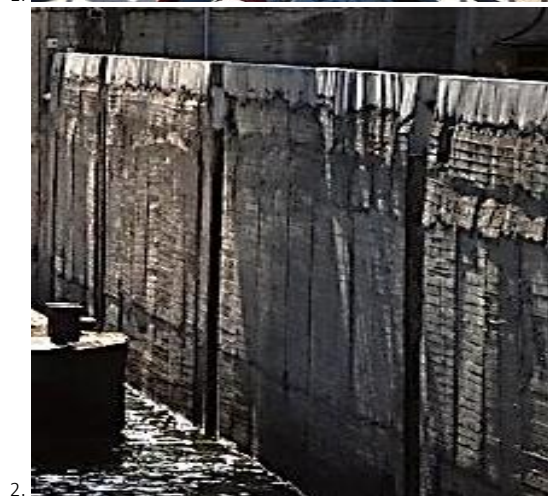
Авторами были обследованы различные бетонные шлюзовые, пришлюзовые и припортовые сооружения (табл. 1, 2), а также отобраны пробы бетона из различных участков как нарушенной, так и целостной структуры без видимых разрушений. На



рис. 1 показаны различные примеры эксплуатационно-климатических разрушений бетонных массивов шлюзовых сооружений, включая разрушения бетона шлюзового канала от кавитации (рис. 1.1, 1.2); разрушения вертикальных стен шлюзовых объектов в ходе интенсивного прорастания растительности (рис. 1.3, 1.4); состояние бетонной дамбы при шлюзовом подходе судоходного канала при активном росте различных видов микроорганизмов, включая грибы (рис. 1.5, 1.6).



1.



2.



3.



4.



5.



6.

Рис. 1. Примеры эксплуатационно-климатического нарушения бетонных массивов шлюзовых сооружений:

- 1, 2 – кавитационные разрушения бетона шлюзового канала;
- 3, 4 – разрушения вертикальных стен шлюзовых объектов;
- 5, 6 – состояние бетонной дамбы подхода судоходного шлюза в следствие комплексного климатического и биологического разрушения

Установленные при обследовании бетонных объектов изменения состояния шлюзовых и припортовых сооружений вызваны комплексом эксплуатационных, климатических и биологических разрушений.

Новосибирский шлюз является единственным судоходным шлюзом за Уралом, возведенным в



Таблица 1. Состояние бетонных сооружений

№ п/п	Характеристика и основные свойства отобранных образцов бетона	Наличие установленных дефектов на обследованной площади											
		Микротрещины и изменение цвета			Макротрещины и разрушения			Биологические разрушители (грибы, мхи и пр.)			Растения, кустарники и деревья		
		Подводный	Переменный	Надводный	Подводный	Переменный	Надводный	Подводный	Переменный	Надводный	Подводный	Переменный	Надводный
1	Судоходный шлюз с причальными сооружениями (три камеры)	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
2	Верхний подходной канал	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
	Нижний подходной канал	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
3	Дамбы припортовых сооружений	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
4	Дамба мола	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+
5	Оградительная дамба	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
6	Левобережная дамба нижнего подходного канала	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
7	Правобережная дамба нижнего подходного канала	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
8	Правобережная оградительная дамба	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+

Примечание: + наличие дефектов; - отсутствие дефектов.

1952-1957 гг., расположен на правом берегу реки Обь в 20 км выше города Новосибирска. Конструкция шлюза представлена в виде трех железобетонных камер, с головной системой наполнения, доковой конструкции с разрезным днищем; входит в состав Новосибирского гидроузла и обеспечивает судопропуск в створе Новосибирской ГЭС.

В состав сооружения входят:

- судоходный шлюз с причальными сооружениями в верхнем и нижнем подходах;
- верхний и нижний подходные каналы;
- дамба мола;
- оградительная дамба;
- левобережная и правобережная дамбы нижнего подходного канала;
- правобережная оградительная дамба (Ельцовская).

Габаритная длина (между внешними гранями устоев верхней и нижней голов) – 553м.

Камеры шлюза: длина – 148 м, полезная длина – 145 м, ширина – 18 м, глубина на пороге при НПУ – 6,0 м, площадь по зеркалу – 2 516,00 м², объем сливной призмы при НПУ и УНБ = 93,7 – 21,4 тыс. м³.

Головы шлюза докового типа из монолитного армированного бетона. Тип системы наполнения шлюза – головной, системы перепуска – головной; среднее время наполнения – 8-10 мин, опорожнения – 9 мин. Средняя продолжительность физической навигации составляет от 175-195 суток.

В летний период 2020-2023 гг. были проведены обследования следующих объектов: судоходный шлюз с причальными сооружениями, состоящий из трёх камер; верхний подходной канал; нижний подходной канал; дамба припортового сооружения; дамба мола; оградительная дамба; левобережная дамба нижнего подходного канала; правобережная дамба нижнего подходного канала; правобережная оградительная дамба (табл. 1, 2).

Результаты обследования бетонных объектов в различных участках шлюзовых и припортовых сооружений у плотины ГЭС на реке Обь в городе Новосибирске представлены в таблице 2.

Полученные результаты обследования бетонных объектов шлюзовых и припортовых сооружений свидетельствуют об интенсивном разрушении материала в условиях сибирского сурового климата. Осо-



Таблица 2. Свойства образцов, отобранных из бетонных массивов

№ п/п	Характеристика и основные свойства отобранных образцов бетона	Участки отбора образцов								
		Стенки шлюзовых камер			Стенки проходных каналов			Дамбы		
		Надводный	Переменный	Подводный	Надводный	Переменный	Подводный	Надводный	Переменный	Подводный
1	Средняя плотность, $Kг/м^3$	1,82-1,97	1,76-1,89	1,93-2,15	1,78-2,01	1,66-1,81	1,90-2,18	1,67-1,91	1,62-1,81	1,91-2,08
2	Водопоглощение за 24 часа, %	9,7-21,4	13,725,6	6,6-13,9	12,3-20,5	14,5-19,6	4,1-11,3	12,2-27,0	12,5-24,8	4,3-12,8
3	Пористость цементного камня, %	19,1-22,5	18,427,9	8,6-17,3	15,819,0	17,2-29,8	8,9-16,1	16,5-28,8	20,5-29,7	14,2-18,5
4	Предел прочности при сжатии в сухом/влажонасыщенном состоянии, МПа	5,9-12,7	4,8-11,9	14,2-19,3	6,9-13,1	11,6-21,8	20,0-23,3	4,1-13,5	6,2-11,5	17,6-20,4
		4,6-8,9	4,1-7,7	8,3-11,8	5,5-9,4	13,1-23,4	14,3-20,4	5,8-7,7	8,2-10,7	12,3-19,6
5	Наличие микро- и макротрещин, % от общей площади	5,1-8,9	6,8-13,3	4,4-8,1	12,3-18,6	15,8-21,4	2,1-9,9	13,6-24,2	9,5-23,1	3,2-8,4
6	Установленная глубина разрушений, мм	11,7-44,8	17,8-32,2	9,8-12,5	11,7-44,8	17,8-32,2	9,8-12,5	34,5-68,3	27,9-42,6	17,8-34,5
7	Наличие биологических разрушителей, % от общей площади	3,9-7,7	2,7-3,9	1,7-4,6	13,3-17,9	12,7-23,9	2,6-5,8	21,9-27,7	12,7-23,2	8,3-14,2
8	Остаточная прочность бетона, %	46-74	38-67	72-91	41-70	33-65	68-89	28-64	35-65	54-82

бенно это проявляется в сооружениях северных районах Сибири, где сопутствующими факторами являются не только простое замораживание и оттаивание, механические воздействия при ледоходе, но и активное биологическое разрушение в период оттепели. Так, обрастание бетонных массивов в условиях интенсивного движения водных потоков приводит к их значительному росту и, как следствие к разрушению бетона с вымыванием гидроксида кальция, о чём свидетельствует высокая пористость материала. Особенно это широко проявляется в зоне перемены уровня вод, что часто случается с объектами шлюзовых сооружений, постоянно работающими в этих режимах. В этих условиях при попеременном увлажнении и высушивании происходит наиболее значимый рост грибов и водорослей.

Выводы. Главными разрушающими факторами, снижающие качество бетонных сооружений, явились: неплотная структура бетона, недостаточное качество местных заполнителей; выбор нестойких минеральных вяжущих без пластифицирующих и гидрофобизирующих добавок, что способствует усилению химической и биологической коррозионной активности. Таким образом, наибольший эффект с коррозионными разрушениями может быть достигнут при снижении пористости цементного камня, т.е. создании максимальной плотности бетона [7-10].

Методы защиты бетона от коррозии весьма разнообразны, но, как правило, сводятся к трём основным направлениям: оптимальный подбор со-

става бетона из стойких к коррозионному разрушению составляющих; качественное выполнение работ при бетонировании с обеспечением плотной упаковки заполнителей бетона; применение специальных добавок и защитных покрытий. Можно рекомендовать использование фунгицидных добавок, способствующих подавлению роста и размножения биологических объектов, например, полиакрилат натрия, тетраэтоксисилан, «Ирганокс», которые в сочетании с составами проникающего действия могут не только уплотнять бетонные массивы, но и обеспечивать их биологическую защиту.

Библиографический список

1. Москвин В.М. и др. Коррозия бетона и железобетона. Методы защиты. - М. Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Колокольникова Е.И. Долговечность строительных материалов (бетон и железобетон). - М., «Высшая школа, 1975. - 159 с.
3. Будин А.Я. Эксплуатация и долговечность портовых гидротехнических сооружений. 2-е изд., перераб. и доп. - М., Транспорт, 1977. – 320 с.
4. Шаталов А.А., Никитенко К.А., Пичугин А.П. Состояние бетонных причалов, эксплуатируемых в суровых условиях Сибири. // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 10. С.71-79.
5. Бик Ю.И., Щербинина М.А. Оценка надежности гидротехнических сооружений – Новосибирск, НГАВТ, 2005. – 122 с.
6. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Шаталов А.А., Никитенко К.А. Физико-химические исследования процессов коррозионного разрушения бетона причальных



сооружений // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 11. С.69-77.

7. Соломатов В.И., Селяев В.П. Химическое сопротивление композиционных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264с.

8. Бабков, В.В. Механизм упрочнения цементных связок при использовании тонкодисперсных заполнителей / В.В. Бабков [и др.] // Цемент. – 1991. - № 9-10. – С. 34-41.

9. Химические и минеральные добавки в бетон / Под ред. А.В. Ушеров-Маршака. - Харьков: Колорит. - 2005. - 280 с.

10. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений. - Новосибирск, 2010. - 142 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья
УДК 624.04 : 539.3:534
ГРНТИ: 67. Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.9. Строительная механика
doi:10.51608/26867818_2025_1_178

АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ДВУХЭТАЖНОГО КАРКАСА ПРИ ЗАПРОЕКТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© Авторы 2025
SPIN: 5034-1480

ПОТАПОВ Александр Николаевич
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
*Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Россия, Челябинск, e-mail: potapov.alni@gmail.com)*

SPIN: 1023-3793

СОЗЫКИНА Екатерина Сергеевна
ведущий инженер
*ГК «CRONORConstruction»
(Россия, Челябинск, e-mail: ekat-ss@ya.ru)*

ДУДИН Дмитрий Евгеньевич
инженер
*ООО "УралНИИСтром"
(Россия, Челябинск, e-mail: wolfandmoon100@yandex.ru)*

Аннотация. Приведены математические модели колебаний и алгоритм расчёта дискретной диссипативной системы (ДДС) при выключении конструктивного элемента, вызванным запроектной нагрузкой. В рамках теории временного анализа записаны разрешающие уравнения реакции конструктивно-нелинейной системы для двух состояний: до выключения несущего элемента (при $t \leq t_1$) и после выключения (при $t > t_1$). Результаты иллюстрируются на примере колебаний модели 2-этажного железобетонного каркасного здания при разрушении угловой колонны нижнего этажа при случайном наезде на нее транспортного средства. Приведены осциллограммы колебаний параметров динамической реакции расчетных моделей каркаса для базовой (БМ) и поврежденной (ПМ) моделей. Осциллограммы ускорений и силовых параметров реакции ПМ в момент удаления колонны при t_1 содержат скачки. Для вектора внешних динамических сил в компоненте крутящего момента 1-го этажа ПМ обнаружен эффект скачка, явившийся следствием внезапного удаления колонны.

Ключевые слова: диссипативная система; разрушение; динамическая реакция; перемещение; колебание; восстанавливающая сила; матрица жёсткости; строительная механика

Для цитирования: Потапов А.Н., Созыкина Е.С., Дудин Д.Е. Анализ колебаний двухэтажного каркаса при запроектном воздействии // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 178-184. doi:10.51608/26867818_2025_1_178.

Original article

ANALYSIS OF OSCILLATIONS OF A TWO-STORY FRAME UNDER BEYOND-DESIGN IMPACT

© The Author(s) 2025

POTAPOV Aleksandr Nikolaevich
Corresponding Member of the RAACS, doctor of technical Sciences, professor
*South Ural State University (National Research University)
(Russia, Chelyabinsk, e-mail: potapov.alni@gmail.com)*

SOZIKINA Ekaterina Sergeevna
Principal Engineer
*GC «CRONOR Construction»
(Russia, Chelyabinsk, e-mail: ekat-ss@yandex.ru)*



DUDIN Dmitry Evgenievich

Engineer

UralNIStrom LLC

(Russia, Chelyabinsk, e-mail: wolfandmoon100@yandex.ru)

Abstract. The article presents mathematical models of oscillations and an algorithm for calculating a discrete dissipative system (DDS). The algorithm is based on the following condition: the structural element is disabled due to an out-of-design load. According to the theory of time analysis, the resolving equations of the reaction of a structurally nonlinear system are written for two states: before switching off the carrier element (at $t \leq t_1$) and after switching off (at $t > t_1$). The article considers the oscillation of the model of a 2-storey reinforced concrete frame building during the destruction of the corner column of the lower floor. The destruction of the column occurs as a result of an accidental impact of a vehicle. The oscillograms of fluctuations in the dynamic reaction parameters of the models are given: the basic (initial) model (BM) and the damaged model (PM). The oscillograms of accelerations and force parameters of the PM reaction at the time of column extraction at t_1 contain sharp changes in values (jumps). A jump effect was found for the vector of external dynamic forces as part of the torque of the 1st floor of the PM. It occurs as a result of a change in the position of the coordinates of the center of rigidity (c.w.) of the overlap at the time of the sudden removal of the column.

Keywords: dissipative system; destruction; dynamic reaction; displacement; oscillation; restoring force; stiffness matrix

For citation: Potapov A.N., Sozikina E.S., Dudin D.E. analysis of oscillations of a two-story frame under beyond-design impact // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 178-184. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_178.

Введение. Прогрессирующее обрушение (ПО) относится к категории наиболее опасных разрушений, происходящих в зданиях и сооружениях. Это явление, начиная с локального разрушения некоторого элемента конструкции, затем распространяется на её другие части, инициируя цепную реакцию и приводя либо к полному разрушению всего здания, либо его части. Особенностью этого явления является непропорциональный характер разрушения конструкции, когда отказ одного из структурных элементов может вызвать обрушение всего здания.

В [1] отмечено, что ПО как явление относится к категории запроектных воздействий и его нельзя подчинить условиям нормальной эксплуатации строительных систем. Перед строительной наукой стоит сложная задача по обеспечению живучести зданий и сооружений. Многочисленные публикации и конференции [1–11] свидетельствуют о том, что задача защиты зданий и сооружений от ПО является актуальной, важной и, ввиду своей непредсказуемости, чрезвычайно сложной проблемой.

В последние десятилетия в России разработаны мероприятия по защите различных категорий зданий от ПО в рекомендациях [12–14] и закреплены требования по надежности строительных конструкций в нормативных документах [15]. Аналогичные рекомендации содержится в Европейских и американских стандартах и требованиях [16–18]. Основные направления исследований по разработке методов живучести конструкций: методы оценки надёжности конструкций на основе 2-D и 3-D моделей разрушения [9-10; 19–23], методы разработки мероприятий по повышению сопротивляемости системы к разрушению [8; 24–28], методы разработки стойких к разрушению конструкций [24; 29] с учетом опыта проектирования и расчёта сейсмостойких конструкций.

В подавляющем большинстве направления исследований по моделям разрушения основаны на модификациях численного моделирования МКЭ. В [1-2; 27] отмечается отсутствие аналитических разработок, без которых невозможно создание «теоретических основ и обоснования предложений по расчету живучести конструктивных систем для включения их в нормативные документы».

В статье предложен подход к решению задачи колебаний поврежденной конструкции при внезапном удалении колонны на основе теории временного анализа дискретных диссипативных систем (ДДС) [30].

Метод исследования. Задача колебаний расчётной модели конструктивной системы, согласно модели упруговязкого сопротивления, представлена матричным ОДУ движения (1), начальными условиями (2) и характеристическим уравнением движения форм собственных колебаний ДДС (3) в виде матричного квадратичного уравнения:

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{Y}(t) + C \dot{Y}(t) + KY(t) &= P(t), & (1) \\ Y_0(t_0) = Y(t_0), \dot{Y}_0(t_0) &= \dot{Y}(t_0), & (2) \\ MS^2 + CS + K &= 0. & (3) \end{aligned} \right\}$$

где $M = \text{diag}(m_1, \dots, m_n)$, $C = C^T$, $K = K^T \in M_n(\mathbf{R})$ – матрицы масс, демпфирования и жесткости; $Y(t)$, $\dot{Y}(t)$, $\ddot{Y}(t)$ – векторы перемещений, скоростей и ускорений); $S \in M_n(\mathbf{C})$ – матрица внутренних динамических параметров расчетной модели; $P(t)$ – вектор внешних воздействий; n – число степеней свободы ДДС.

Левую часть ОДУ (1) составляют силовые параметры реакции – векторы восстанавливающих $R(t)$, диссипативных $F(t)$ и инерционных $I(t)$ сил:

$$R(t) = KY(t), \quad F(t) = C \dot{Y}(t), \quad I(t) = -M \ddot{Y}(t).$$



В случае внезапного разрушения j -го конструктивного элемента (колонны) жесткость системы также внезапно изменяется и тогда соотношения между восстанавливающей силой и перемещением имеют вид:

$$R(t) = K_i Y(t),$$

$$K_i = K_0(t \leq t_1), \quad K_i = K_1(t > t_1). \quad (4)$$

Здесь векторы $R(t)$ и $Y(t)$ связаны с помощью матрицы жесткости $K_i (i = 0, 1)$, формирующейся с учетом выключающегося элемента при $t = t_1$.

До повреждения расчетной модели (при $t \leq t_1$), называемой базовой (БМ), индекс $i = 0$ в (4), в последующем опускается, в отличие от поврежденной модели (ПМ) (при $i = 0, t > t_1$). Уравнения (4) выражают физический закон между векторами $R(t)$ и $Y(t)$, а комплекс уравнений (1)–(4) в рамках теории временного анализа ДДС представляет математическую модель колебаний конструктивно-нелинейной системы с внезапно выключающимся элементом при действии запроектной нагрузки, моделируемой вектором $P(t)$ в (1).

При выключении j -го конструктивного элемента из работы (при t_1) «старые» параметры БМ – M, C, K , построенных при $t_0 = 0$, заменяются на «новые» ПМ – M_1, C_1, K_1 . Этот переход сопровождается сменой начальных условий. Тогда задача динамического анализа ДДС формулируется так.

Требуется проинтегрировать ОДУ (1) при начальных условиях (2), удовлетворяющее уравнениям (3) и (4) с конструктивно-нелинейной зависимостью векторов $R(t)$ и $Y(t)$ посредством выключающейся колонны при $t = t_1$.

Согласно данной математической модели получены разрешающие уравнения динамической реакции конструктивно-нелинейной ДДС [30]. Для неповрежденного состояния (БМ) реакция на интервале $t \in [t_0, t_1]$ имеет вид:

$$Y(t) = 2\text{Re} \{ X(t) \} + Y_{st}, \quad \dot{Y}(t) = 2\text{Re} \{ SX(t) \},$$

$$\ddot{Y}(t) = 2\text{Re} \{ S^2 X(t) \} + M^{-1}P(t), \quad (5)$$

где $X(t) = X^0(t-t_0) + Z^P(t-t_0)$,

$$X^0(t-t_0) = \Phi(t-t_0)U^{-1}M[-\bar{S} Y_0(t_0) + \dot{Y}_0(t_0)], \quad (6)$$

$$Z^P(t-t_0) = U^{-1} \int_{t_0}^t \Phi(t-\tau)^T P(\tau) d\tau.$$

Уравнения динамической реакции ПМ при $t > t_1$ записываются так:

$$Y(t) = 2\text{Re} \{ X(t) \} + Y_{st}(t_1), \quad \dot{Y}(t) = 2\text{Re} \{ S_1 X(t) \},$$

$$\ddot{Y}(t) = 2\text{Re} \{ S_1^2 X(t) \} + M_1^{-1}P(t), \quad (7)$$

где $X(t) = X_1^0(t-t_1) + Z_1^P(t-t_1)$,

$$X_1^0(t-t_1) = \Phi_1(t-t_1)U_1^{-1}M_1[-\bar{S}_1 Y_0(t_1) + \dot{Y}_0(t_1)], \quad (8)$$

$$Z_1^P(t-t_1) = U_1^{-1} \int_{t_1}^t \Phi_1(t-\tau)^T P(\tau) d\tau.$$

Характеристики решения (3) S, U и фундаментальная матрица $\Phi(t) = e^{St}$ определяются в состояниях расчетной модели до и после повреждения (БМ, ПМ). Векторы $X^0(t-t_i), Z^P(t-t_i) (i = 0, 1)$ выражают реакцию соответственно, при свободных и вынужденных колебаниях. Векторы начальных условий $Y_0(t_1), \dot{Y}_0(t_1)$ назначаются из уравнений БМ (5), (6) в конце интервала времени $[t_0, t_1]$.

Качество полученных решений оценивается невязкой векторных величин в виде разности параметров реакции ДДС, взятых в критической точке t_1 соответственно после (t_1^+) и до (t_1^-) выключения связи [30]:

$$\Delta Y(t_1) = Y(t_1^+) - Y(t_1^-) = 0,$$

$$\Delta \dot{Y}(t_1) = \dot{Y}(t_1^+) - \dot{Y}(t_1^-) = 0,$$

$$\Delta \ddot{Y}(t_1) = \ddot{Y}(t_1^+) - \ddot{Y}(t_1^-) = \Delta(M^{-1}K) \cdot Y_0(t_1) + \Delta(M^{-1}C) \cdot \dot{Y}_0(t_1) - \Delta(M^{-1}P),$$

$$\Delta I(t_1) = I(t_1^+) - I(t_1^-) = \Delta R(t_1) + \Delta F(t_1) + \Delta P(t_1), \quad (9)$$

$$\Delta R(t_1) = R(t_1^+) - R(t_1^-) = -\Delta K \cdot Y_0(t_1),$$

$$\Delta F(t_1) = F(t_1^+) - F(t_1^-) = -\Delta C \cdot \dot{Y}_0(t_1),$$

где $\Delta K = K - K_1, \quad \Delta C = C - C_1$

$$\Delta(M^{-1}K) = (M^{-1}K - M_1^{-1}K_1),$$

$$\Delta(M^{-1}C) = (M^{-1}C - M_1^{-1}C_1),$$

$$\Delta(M^{-1}P) = [M^{-1}P(t_1^-) - M_1^{-1}P(t_1^+)], \quad (10)$$

$$\Delta P(t_1) = P(t_1^-) - P(t_1^+),$$

$Y_0(t_1), \dot{Y}_0(t_1)$ – векторы перемещений и скоростей в критической точке.

Невязки (10) выражают величину скачка у параметров реакции ДДС при t_1 , при этом только перемещения и скорости являются непрерывными функциями времени, что обеспечивается постановкой начальных условий.

Результаты, анализ. Приведены результаты динамического анализа 2-этажного пространственного железобетонного каркаса, на угловую колонну которого (пунктир) совершен случайный наезд транспортного средства (рис. 1).

Расчетная схема каркаса подчиняется сдвиговой модели, вследствие чего она имеет $n = 6$ степеней свободы. Высоты колонн первого и второго этажей каркаса соответственно равны: $h_1 = 4,2 \text{ м}, h_2 = 3,3 \text{ м}$; шаг колонн $l = 6 \text{ м}$, сечение колонн $0,4 \times 0,4 \text{ м}$. Жесткости колонн на изгиб и кручение равны $EJ_x = EJ_y = 501330000 \text{ кНсм}^2; GJ = 336900000 \text{ кНсм}^2 (G = 0,35E)$.

Массы и моменты инерции плит перекрытий этажей оставляют:

$$m_1 = 1.97 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{см}, m_2 = 1.82 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{см};$$

$$J_1 = 1713900 \text{ кН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2, J_2 = 1583400 \text{ кН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2.$$

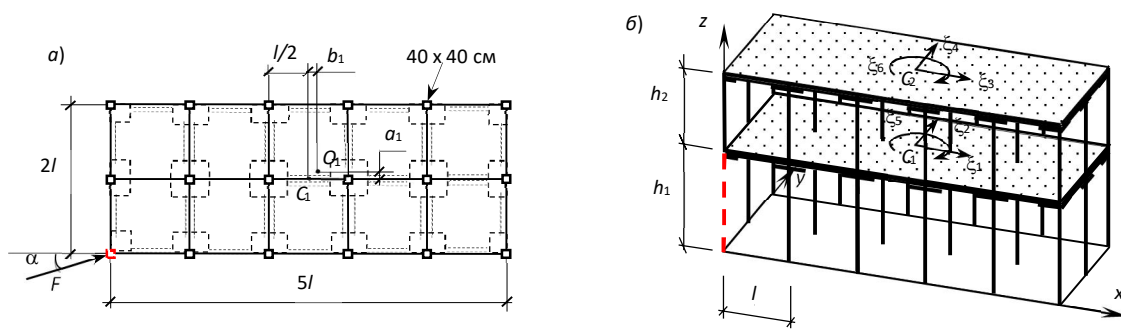


Рис. 1. Расчетная модель 2-этажного железобетонного каркаса:
а – схема колонн каркаса; б – расчетная динамическая модель

Координаты центра жесткости (ц.ж.) O_1 1-го этажа ПМ показаны на рис. 1а и равны $a_1 = 35.29$ см, $b_1 = 38.24$ см.

Матрица масс: $M = \text{diag} ([1.97, 1.97, 1.82, 1.82, 1713900, 1583400])$.

По этим данным сформированы матрицы жесткости базовой K и поврежденной K_1 моделей. В статье принята модель рассеяния энергии, соответствующая матрице непропорционального демпфирования [31].

Внешняя нагрузка подчинена синусоидальному закону $P(t) = P_0 \cdot \sin(\frac{\pi t}{t_0})$, где P_0 – вектор амплитуд;

$P_0 = [15.59, 9, 0, 0, 4146.93, 0]^T$, полученный при ударной нагрузке $F = 50$ кН при угле наклона вектора F_k горизонтали $\alpha = 30^\circ$ (рис. 1а); $t_0 = 1,5$ с – время действия ударной нагрузки.

Для временного анализа принято: колонна удаляется в момент времени $t_1 = 0,8t_0 = 1,2$ с, шаг ана-

Кинематические и силовые составляющие динамической реакции расчетных моделей 1-го этажа в направлении оси x приведены на рис. 2, 3. Параметры реакции БМ даны черным цветом, ПМ – красным.

На рис. 4 представлены осциллограммы горизонтальных колебаний плиты перекрытия 1-го этажа: угловое перемещение и момент восстанавливающей силы. Повороты плиты происходят вокруг ц.ж. O_1 упругих связей; момент восстанавливающей силы вызван крутящим моментом, возникающим от действия внешних горизонтальных сил также относительно ц.ж. O_1 .

Наличие скачков на осциллограммах внутренних силовых параметров обусловлено тем, что элементы матриц жесткости и/или демпфирования отличаются своими значениями в состояниях расчетных моделей до и после разрушения колонны. У инерционных сил скачок в ПМ образуется за счет наличия скачка у вектора ускорений.

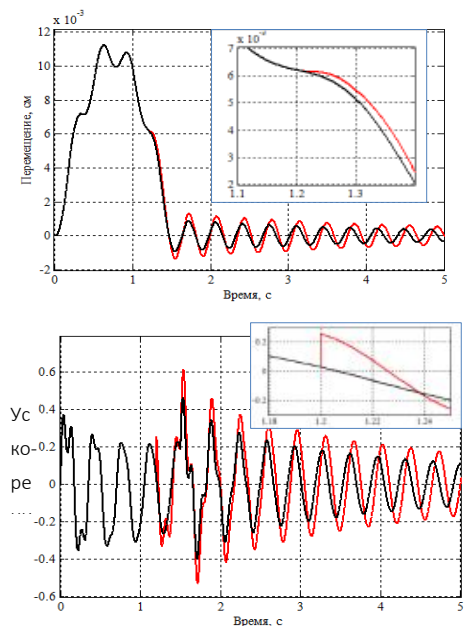


Рис. 2. Кинематические параметры реакции в ц.т. плиты перекрытия 1-го этажа (по направлению оси x)

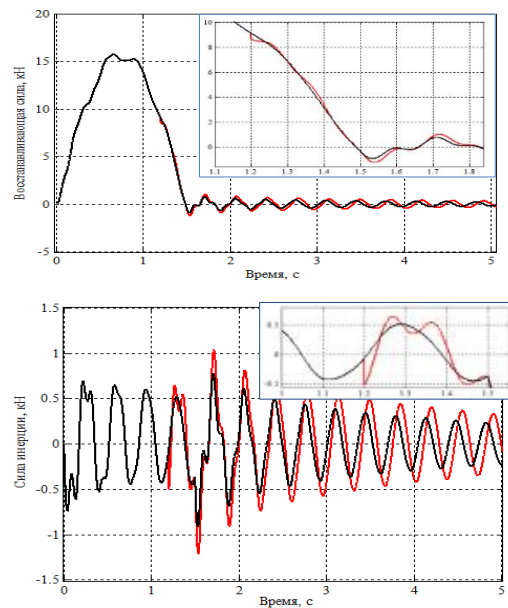


Рис. 3. Силовые параметры реакции, действующие в ц.т. плиты перекрытия 1-го этажа (по направлению оси x)

лиза равен $\Delta t = t_0 / 500 = 0,003$ с.

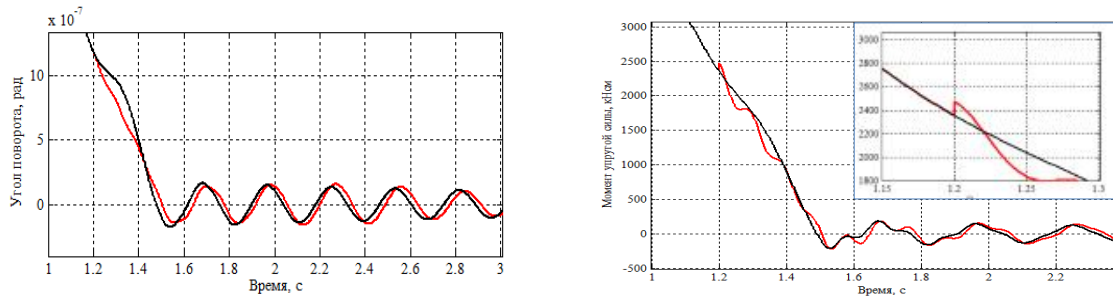


Рис. 4. Реакция в плите перекрытия 1-го этажа: – угол поворота, рад; – крутящий момент от восстанавливающей силы, кН·см

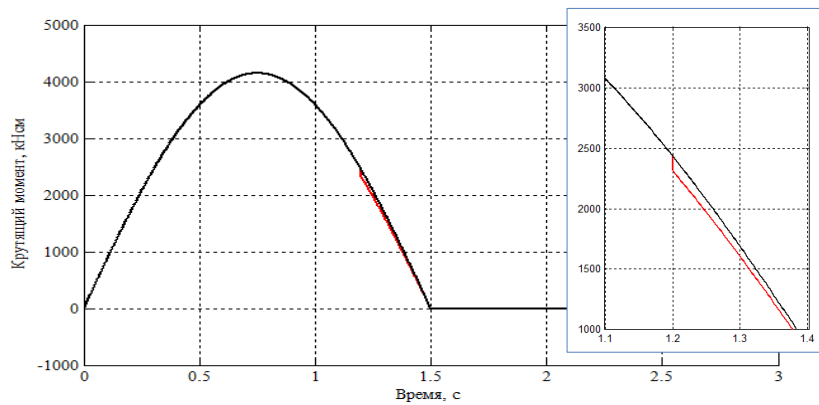


Рис. 5. Крутящий момент от действия внешней горизонтальной силы в 1-м этаже расчетных моделей каркаса (БМ и ПМ)

На рис. 5 изображен характер изменения внешней нагрузки для крутящего момента $P_5(t)$ в плите перекрытия 1-го этажа. Скачок крутящего момента ПМ обусловлен внезапным изменением положения координат ц.ж. 1-го этажа, оказавшем влияние на изменение плеча горизонтально действующей силы.

Качество решения определяется вектор-функцией: $\varphi(t) = R(t) + F(t) - I(t)$, представляющей алгебраическую сумму всех внутренних сил левой части ОДУ (1). Для БМ и ПМ (рис. 6) показаны суммарные кру-

тящие моменты $\varphi_5(t)$, от действия данных сил в плите 1-го этажа, позволяющие получить оценку приближения полученного решения к заданной функции внешней нагрузки $P_5(t)$.

На левом фрагменте в момент разрушения колонны ($t_1 = 1.2$ с) у крутящего момента ПМ виден скачок, а на интервале свободных колебаний моделей, где внешняя нагрузка отсутствует (правые фрагменты), значения крутящих моментов стремятся к нулю. Причем для верхнего фрагмента значения осциллограммы крутящего момента $\varphi_5(t)$ (ПМ, красный цвет), не превы-

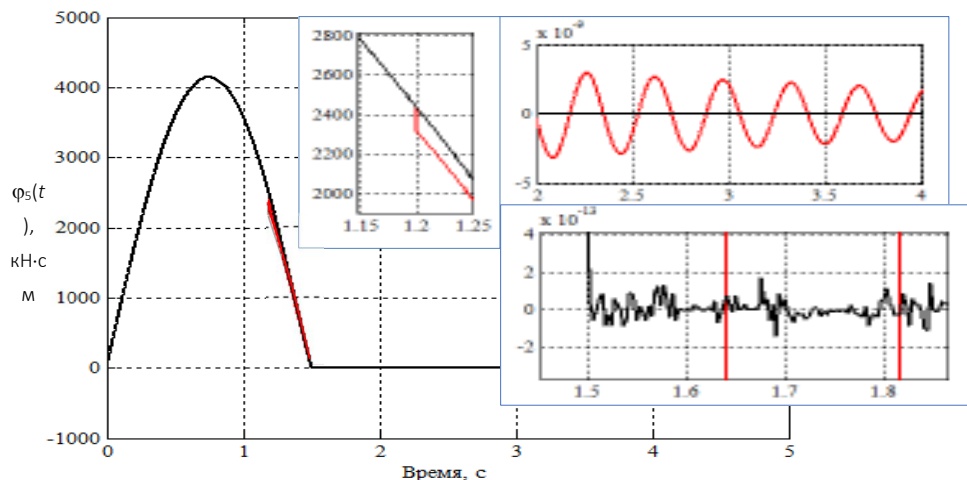


Рис. 6. Функции $\varphi_5(t)$ левой части ОДУ движения (1) расчетных моделей каркаса (БМ и ПМ) – суммарный крутящий момент в 1-м этаже

шают величины $\varepsilon \leq 3e^{-09}$, а для нижнего фрагмента погрешности $\varphi_5(t)$ (БМ, черный цвет), не выше $2e^{-13}$.

Критерий точности решения – величина вектор-функции невязки $\Delta(t) = \varphi(t) - P(t)$, определяемая разностью между левой и правой частью ОДУ движения (1).

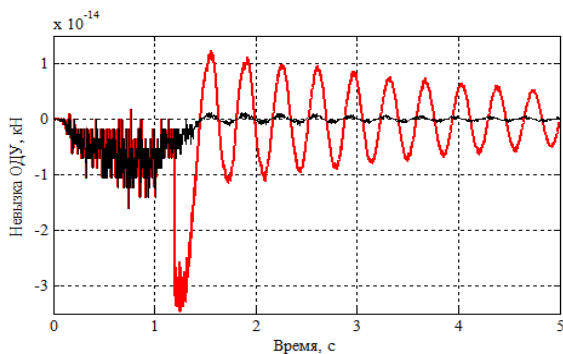


Рис. 7. Осциллограммы невязок $\Delta_1(t)$ левой и правой частей ОДУ (1) горизонтальной силы, действующей в ц.т. плиты перекрытия 1-го этажа расчетных моделей каркаса вдоль оси x

На рис. 7 даны осциллограммы невязок $\Delta_1(t)$ линейной составляющей суммарной горизонтальной силы в ц.т. S_1 перекрытия по оси x . Показано, что решение ОДУ (1) для функциональной невязки $\Delta_1(t)$ расчетных моделей не выходит за пределы погрешности $\varepsilon \leq 3,5 \cdot 10^{-14}$ кН.

Представленные графики (рис. 6, 7) демонстрируют высокую точность при определении динамической реакции расчетных моделей каркаса при внезапном разрушении колонны, что свидетельствует об эффективности подхода.

Заключение. 1. Из анализа отечественных и зарубежных публикаций нормативной и научно-технической литературы следует, что большинство работ по моделям разрушения основаны на МКЭ. В ряде статей отмечено, что создание методов расчета зданий на ПО требует разработки аналитических подходов, позволяющих дать более глубокий анализ теоретических основ механизма живучести, что обеспечит базу для создания обоснованных нормативных документов.

2. В рамках теории временного анализа приведена математическая модель колебаний конструктивно-нелинейной системы с внезапно выключающейся колонной при запроектом воздействии. Системы уравнений динамической реакции, учитывают определения реакции расчетной модели в ее состояниях до и после повреждения. Для крутящего момента вектора внешних динамических сил 1-го этажа ПМ обнаружен эффект скачка, явившийся следствием изменения положения координат ц.ж. этажа в момент внезапного удаления колонны.

3. Показана высокая точность решения конструктивно-нелинейной задачи на основе предложенного аналитического метода. Для введенных вектор функций невязок $\Delta(t)$ ОДУ (1) оценка погрешности составила $\Delta_1(t) < 3,5 \cdot 10^{-14}$ кН.

Представленный аналитический аппарат, базирующийся на использовании теории временного анализа ДДС, позволяет эффективно выполнять расчеты конструктивно-нелинейных систем при запроектных воздействиях.

Библиографический список

1. Андросова, Н.Б. Некоторые предложения к нормированию параметров живучести сооружений / Н.Б. Андросова, Н.В. Клюева, В.И. Колчунов // Вестник отделения строительных наук. – Москва-Орел-Курск: РААСН. – 2011, Выпуск № 15. – С. 17–25.
2. Еремеев, П.Г. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных сооружений при аварийных воздействиях / П.Г.Еремеев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006, № 2. – С 65–72.
3. Травуш, В.И. Безопасность среды жизнедеятельности – смысл и задача строительной науки / В.И. Травуш, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015, №7. – С. 20–27.
4. Savin, S. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario / S. Savin, V. Kolchunov, N. Fedorova // Buildings. – 2023, 13, 908.
5. Колчунов, В.И., Вопросы расчетного анализа и защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения / В.И. Колчунов, С.Г. Емельянов // Жилищное строительство. – М.: 2016, № 10. – С 17–20.
6. Dmitriev, A.N. Comparison of Different Procedures for Progressive Collapse Analysis of RC Flat Slab Structures under Corner Column Loss Scenario / A.N. Dmitriev, V. Lalin // Buildings. – 2021,11(9), 405.
7. Савин, С.Ю. Сопоставление методов расчета несущей системы на внезапный отказ одного из ее элементов / С.Ю. Савин, Н.В. Федорова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2022, №4. – С. 329–340.
8. Nair, R.S. Preventing Disproportionate Collapse / Journal of Performance of Constructed Facilities. ASCE, 2006. Vol. 20, No. 4, P. 309–314.
9. Ruth, P. Static equivalency in progressive collapse alternate path analysis: reducing conservatism while retaining structural integrity / P. Ruth, K.A. Marchand, E.B. Williamson // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 2006. – 20(4), P. 349–364.
10. Shan, L. Robustness of RC buildings to progressive collapse: Influence of building height / L. Shan, F. Petrone, S. Kun-nath // Engineering Structures, 2019, Vol. 183. – P. 690–701.
11. Fedorova, N.V. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage – an analytical review / N.V. Fedorova, S.Yu. Savin // Construction and reconstruction. – 2021. №3(95). – P. 76-98.
12. Рекомендации по предотвращению от прогрессирующих обрушения крупнопанельных зданий. –



Введ. 1999.08.24. – М. Правительство Москвы. Москомархитектура МНИИТЭП, 1999. – 55 с.

13. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – Введ. 2006.02.16. – М. Правительство Москвы. Москомархитектура. МНИИТЭП. РААСН, 2006. – 33 с.

14. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Москва: Стандартинформ, 2018. – 24с.

15. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. М: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

16. EN 1991-1-7 (2006) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions. The European Union Per Regulation, 2006. – 69 p.

17. GSA Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and major Modernization Projects. Washington, 2016. – 125 p.

18. UFC 4-023-03. Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, With Change 3. Approved for public release, 2016. – 245 p.

19. Dusenberry D. Practical Means for Energy-based Analyses of Disproportionate Collapse Potential / D. Dusenberry, R. Hamburger // Journal of Performance of Constructed Facilities – ASCE. – 2006. – V. 20, № 4. – P. 336–348.

20. Pham, A.T. Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse / A.T. Pham, K.H. Tan, J. Yu // Engineering Structures. – 2017, 149, P. 2–20.

21. Adam, J.M. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario / J.M. Adam, M. Buitrago, E. Bertolesi, J. Sagaseta, J.J. Moragues // Eng. Struct. 2020, 210, 110414.

22. Kong, D.-Y. Experimental and Analytical Study on Progressive Collapse of 3D Composite Floor System under Corner Column Loss / D.-Y. Kong, S. Li, B. Yang, Y. Yang, J. Y. Richard Liew // J. Struct. Eng., 2022, 148(4): 04022012.

23. Fu, Q.-L. Numerical Investigations of Progressive Collapse Behaviour of Multi-Storey Reinforced Concrete Frames / Q.-L. Fu, L. Tan, B. Long, S.-B. Kang // Buildings. – 2023, 13, 533.

24. Lu, X. Experimental Investigation of RC Beam-Slab Substructures against Progressive Collapse Subject to an Edge-Column-Removal Scenario / X. Lu·K. Lin·Y. Li·H. Guan·Y. Zhou // Engineering Structures, 2017, Vol. 149 – P. 91–103.

25. Ma, F. Experimental study on the progressive collapse behaviour of RC flat plate substructures subjected to corner column removal scenarios / F. Ma, B.P. Gilbert, H. Guan, H. Xue, X. Lu, Y. Li // Engineering Structures. 180 (2019). P. 728–741.

26. Ciman, L. A Retrofit Method to Mitigate Progressive Collapse in Steel Structures / F. Freddi, N. Tondini // Special Issue: EUROSTEEL 2021 Sheffield – Steel's coming home, 2021, Vol. 4. – P. 1246–1254.

27. Lin, K. Progressive collapse design optimization of RC frame structures using high-performance computing / K. Lin, Z. Wu, Y. Zhu, J. Zheng, Y. Li, X. Lu // Structures, 2023, Vol. 50. – P. 823–834.

28. Qian, K. Progressive Collapse Resilience of Concrete Structures: Mechanisms, Simulations and Experiments / K. Qian, Q. Fang // Singapore: Springer Nature Singapore . – 2023.– 278 p.Li, Y. An improved tie force method for progressive collapse resistance design of reinforced concrete frame structures / Y. Li, X.Z. Lu, H. Guan, L.P. Ye // Engineering Structures, 2011, Vol. 33(10). – P. 2931–2942.

29. Li, Y. An improved tie force method for progressive collapse resistance design of reinforced concrete frame structures / Y. Li, X.Z. Lu, H. Guan, L.P. Ye // Engineering Structures, 2011, Vol. 33(10). – P. 2931–2942.

30. Потапов А.Н. Анализ колебаний поврежденного каркаса при импульсных воздействиях: монография / А.Н. Потапов., Е.С.Созыкина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2024. – 162 с.

31. Потапов А.Н. Построение модели непропорционального демпфирования // Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы : Научные труды РААСН: труды РААСН: В 2-х томах. Том 2. – Москва: АСВ, 2024. – С. 350-357.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья
УДК 691.535
ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура
ВАК: 2.1.5. Строительные материалы
doi:10.51608/26867818_2025_1_185

ДЕГРАДАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТВОРОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

© 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: 7431- 8742

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

Аннотация. Изучено влияния природы карбоновой кислоты на цементные композиты, наполненные цеолитсодержащими породами. Методом растровой электронной микроскопии определен элементный состав осадка. Дан анализ фильтрата после выдерживания образцов цементного камня в лимонной кислоте. Рассмотрено изменение pH среды в модельных растворах.

Ключевые слова: цементный композит; наполнитель; цеолитсодержащие породы; модельный раствор; карбоновые кислоты; лимонная кислота; биоповреждение; фильтрат; структура осадка

Для цитирования: Селяев В.П., Куприяшкина Л.И. Дегградация цементных композитов под действием растворов карбоновых кислот // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 185-189. doi:10.51608/26867818_2025_1_185.

Original article

DEGRADATION OF CEMENT COMPOSITES BY CARBOXYLIC ACID SOLUTIONS

© The Author(s) 2025

SELYAEV Vladimir Pavlovich
Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation,
Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures
RAACS, Mordovian State University named after N. P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)

KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Mordovian State University named after N. P. Ogarev
(Russia, Saransk)

Abstract. The influence of the nature of carboxylic acid on cement composites filled with zeolite-containing rocks was studied. The elemental composition of the sediment was determined by scanning electron microscopy. The analysis of the filtrate after holding samples of cement stone in citric acid is given. The change in the pH of the medium in model solutions is considered.

Keywords: cement composite; filler; zeolite-containing rocks; model solution; carboxylic acids; citric acid; bio-damage; filtrate; sediment structure



For citation: Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I. Degradation of cement composites by carboxylic acid solutions // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 185-189. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_185.

Во время эксплуатации бетонные и железобетонные конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред. Экспериментально установлено, что механические свойства материала под их воздействием снижаются в большинстве случаев уже через 6-10 лет, если не проводить защитно-оздоровительные работы. В поверхностном слое бетона под действием жидких агрессивных сред развиваются необратимые деструктивные процессы, которые приводят к образованию микротрещин, уменьшению плотности, водонепроницаемости и снижению прочности. Процессы деградации материала возрастают во времени в результате взаимодействия цементных композитов с метаболитами, продуктами жизнедеятельности клеток микроорганизмов, находящихся на поверхности изделия [1-8]. Чаще всего такими продуктами являются органические кислоты, выделяемые микроорганизмами в окружающую их среду [9-10].

Проблема повреждения строительных конструкций в результате воздействия минеральных или органических кислот в настоящее время не достаточно изучена и является актуальной. Различные микроорганизмы, расселенные на поверхности бетона (что визуально наблюдается в виде появления наростов и обширных пятен различных цветов) негативно влияют на комфортность и эстетику помещений. Химические реакции между цементным камнем и продуктами метаболизма микроорганизмов приводят к нарушению сцепления между компонентами цементных композитов и разрушению бетона.

Продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, поселяющихся на поверхности бетона, могут быть низкомолекулярные карбоновые кислоты, которые выделяются в достаточно большом количестве и на внешней поверхности бетона образуется кислотная «пленка» с достаточно низким значением pH среды. Взаимодействие карбоновых кислот с бетоном приводит: к высвобождению из него ионов кальция, магния, железа; протеканию реакции комплексообразования на поверхности бетона; появлению микротрещин, которые постепенно расширяются и углубляются [11-14]. Процесс биоповреждения инициирует процесс деградации поверхности бетона и, соответственно, разрушение строительных конструкций [15].

Целью нашей работы является экспериментальное исследование процесса взаимодействия цементного камня с карбоновой кислотой. Для исследования была выбрана лимонная кислота – органическая кислота средней силы, относящаяся к классу предельных карбоновых кислот (2-окси-1,2,3-пропантрикарбоновая кислота) $C_6H_8O_7$ – белое кристал-

лическое вещество, хорошо растворимое в воде, в этиловом спирте. Слабая трехосновная кислота: $pK_{a1} = 3,10$; $pK_{a2} = 4,76$; $pK_{a3} = 6,40$. проявляет общие для всех карбоновых кислот свойства. Для создания модельной слабоагрессивной среды использовали растворы кислоты концентрацией: 0,5 %, 1,0 % и 2,0%. В качестве композиционного материала использовали цементный камень, наполненный цеолитсодержащими породами (ЦСП) (степень наполнения составляла: 10; 20; 30% от массы цемента и крупности наполнителя $d, мм = 0,315; 0,630; 1,250$), который выдерживали в растворах кислоты заданной концентрации, моделирующих продукты метаболизма микроорганизмов. Периодически осуществлялись измерения концентрации цитрат-ионов и pH среды.

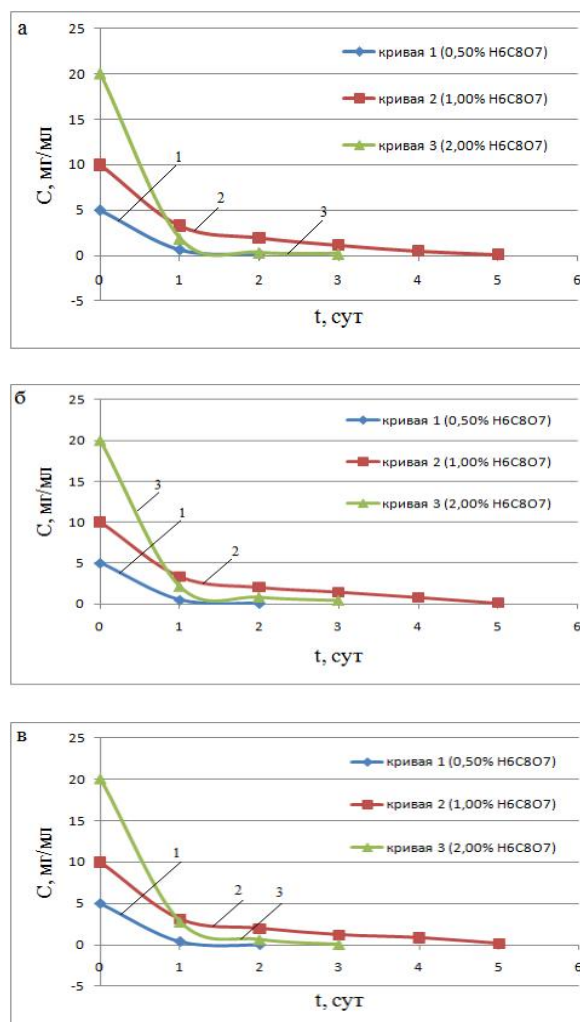


Рис. 1. Изменение концентрации лимонной кислоты от времени контакта с цементным камнем, наполненным ЦСП: а) 10 %; б) 20 %; в) 30 %. Диаметр гранул ЦСП - 0,315 мм.

Анализ экспериментальных данных (рис. 1) показывает, что при контакте 0,5 %-ной лимонной



кислоты с цементным камнем, наблюдается быстрое снижение концентрации до минимума уже через 2-е суток, в 1%-ных растворах – через 5 суток, в 2%-ных – через 3 суток. Вероятно, быстрое снижение концентрации цитрат-ионов в растворах связано с большой активностью, реакционной способностью цитрат-ионов к ионам Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , вымываемыми из цементного камня, за счет образования устойчивых комплексных соединений. Следует отметить, что ход кинетических кривых зависимости $C_{с6Н8O7} - \tau$, сутки не зависит от степени наполнения цементного камня цеолитсодержащей породой и размера гранул наполнителя.

В ходе эксперимента наблюдается монотонное возрастание pH реакционной смеси (переход в щелочную область). Это, вероятно, объясняется взаимодействием лимонной кислоты с цементным камнем и вымыванием из него в водный раствор ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} . Результаты анализа фильтрата методом ионной хроматографии являются подтверждением выше сказанного (табл. 1).

Таблица 1. Результаты анализа фильтрата после выдерживания цементного камня в растворе лимонной кислоты

ω , %	ЦСП, %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}
0,5	10	136,86 ± ±0,004	14,771 ± ±0,002	6,8377 ± ±0,114	73,1050 ± ±0,109
	30	179,354 ± ±0,024	24,465 ± ±0,001	7,3988 ± ±0,117	115,0555 ± ±0,099
1	10	114,988 ± ±0,011	13,610 ± ±0,004	14,3660 ± ±0,094	177,2140 ± ±0,120
	30	120,840 ± ±0,013	11,199 ± ±0,012	15,2523 ± ±0,116	190,3612 ± ±0,117
2	10	136,860 ± ±0,020	14,771 ± ±0,017	38,7745 ± ±0,097	802,6900 ± ±0,116
	30	333,873 ± ±0,008	24,857 ± ±0,011	42,0946 ± ±0,083	963,7358 ± ±0,114

При этом следует заметить, что содержание кальция в фильтрате зависит от степени содержания ЦСП в цементном камне. Чем больше содержание ЦСП, тем выше содержание Ca^{2+} в фильтрате. При этом содержание ионов Ca^{2+} выше содержания ионов Mg^{2+} , что согласуется с элементным составом ЦСП.

Результаты анализа фильтрата на содержание Fe^{3+} и Al^{3+} свидетельствуют о большем содержании Al^{3+} в фильтрате, чем Fe^{3+} , что так же согласуется с элементным составом ЦСП.

При наблюдении за окраской раствора и внешним видом цементного камня было зафиксировано, что раствор – фильтрат окрашивается в желто-зеленый цвет. Углубление окраски наблюдается по мере увеличения продолжительности контакта «цементный камень – лимонная кислота» и с увеличением концентрации кислоты.

На поверхности образцов появляется окрашенная пленка, которая постепенно переходит в осадок. После отделения фильтрата от образовавшегося осадка был проведен анализ на содержание ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ методом ионной хроматографии. Содержание ионов Fe^{3+} , Al^{3+} определялось атомно-абсорбционным методом. Осадок, выделенный из фильтрата, сушили и исследовали методом растровой электронной микроскопии.

Из таблицы 1, где представлены результаты анализа осадка, полученного после выдержки цементного камня в растворах лимонной кислоты различной концентрации, методом растровой электронной микроскопии можно сделать вывод, что осадок в большей мере состоит из соединений Ca.

Методом растровой электронной микроскопии был определен элементный состав осадка, который образовался на цементном камне в системе «цементный камень – лимонная кислота» (рис. 2).

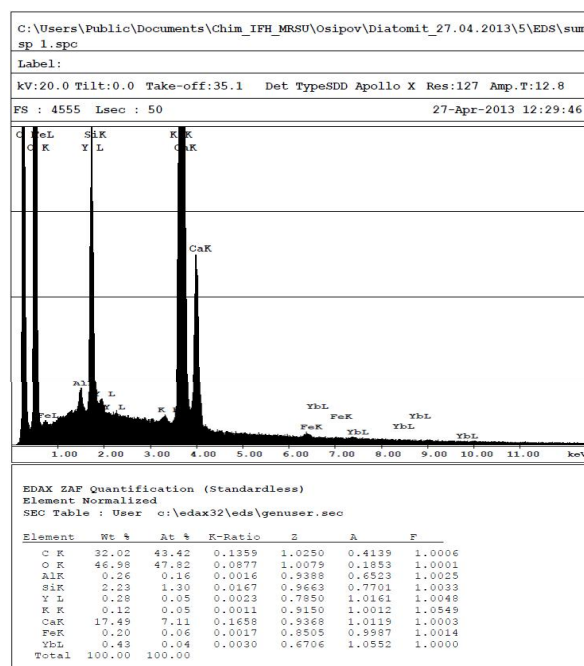


Рис. 2. Структура осадка, полученного после выдержки композита в 2,0% лимонной кислоте, определена с помощью многофункционального растрового электронного микроскопа с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200i 3DFEI при увеличении x1600

Результаты анализа свидетельствуют о том, что осадок в большей мере состоит из соединений кальция. При этом содержание CaO зависит от концентрации лимонной кислот. Как правило, содержание CaO увеличивается с повышением степени наполнения ЦСП до 30% от массы цемента. Оксид магния обнаружен лишь в нескольких осадках. Осадки содержат также оксиды Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 .

Метод гранулометрии позволил установить структуру осадка. Структура осадка из 0,5 %-ной ли-



монной кислоты представлена на рисунке 3, где видно, что в осадке содержатся кристаллы в виде игл (рис. 3 а). При увеличении степени наполнения до 30 % наблюдается повышение плотности осадка (рис. 3 б).

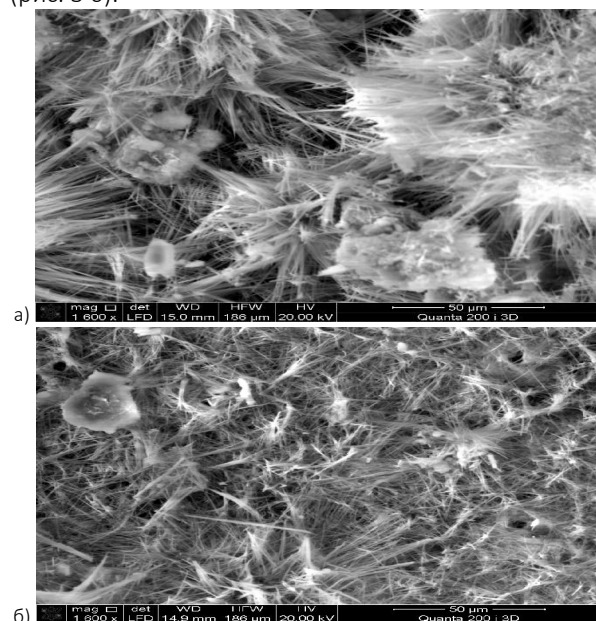


Рис. 3. Структура осадка цементного камня, наполненного ЦСП: а) 10%, б) 30%, полученная на многофункциональном растровом электронном микроскопе с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200i 3DFEI при увеличении $\times 1600$.

В системе «цементный композит – лимонная кислота» осадок состоит из кристаллов труднорастворимого цитрата кальция, имеет форму игл. Это оптимальная форма для кристалла, формирующего и растущего в пористых телах и средах (рис. 3). Образование и кристаллизация малорастворимых продуктов в порах цементного камня создает внутреннее напряжение, которое приводит к повреждению структуры бетона и понижению его прочности (табл. 2).

Таблица 2. Прочность цементных композитов наполненных ЦСП при выдерживании в 2,0 % растворе лимонной кислоты; диаметр гранул ЦСП – 0,315 мм

Степень наполнения ЦСП, %	Время экспонирования, сут.				
	0	7	14	21	28
	Прочность при сжатии, МПа				
10	48,2	44,6	44,1	43,8	43,1
20	50,6	47,4	45,3	42,7	41,4
30	47,2	43,6	40,1	36,2	33,8

При сопоставлении прочности цементных композитов с массой образовавшего осадка можно сказать, что прочность снижается по мере увеличения массы осадка, образовавшего на поверхности композита и перешедшего в раствор. Таким образом, увеличение массы осадка свидетельствует о повышении биокоррозии цементного камня.

Библиографический список

1. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Гарынкина Е. Н., Куприяшкина Е. И., Куприяшкина Л. И., Седова А. А. Анализ осадка при взаимодействии наполненного цементного камня с солями магния [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2017. – №11. – URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/analiz-osadka-pri-vzaimodejstvii-napolnennogo-cementnogo-kamnya-s-solyami-magniya>
3. Строганов, В.Ф. Комплексное исследование процессов биоповреждения минеральных строительных материалов. / В.Ф. Строганов, Л.И. Потапова. // Известия КГАСУ. Строительные материалы и изделия. № 4 (18) – Казань. 2011. – с. 274 – 280.
4. Селяев, В. П. Кинетический анализ химического сопротивления наполненных цементных композитов действию минеральных кислот / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, А. А. Седова // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 2(21). – С. 68-74. – DOI 10.51608/26867818_2023_2_68. – EDN XPCIPU.
5. Соломатов, В. И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В. П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
6. Химическое сопротивление железобетона / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Л. И. Куприяшкина, Е. Л. Кечуткина. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – 120 с. – ISBN 978-5-7103-4056-1. – EDN QRRZWS.
7. Влияние химического состава воды на прочность цементного камня, наполненного природными цеолитами / В. П. Селяев, А. А. Седова, Л. И. Куприяшкина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 3(711). – С. 34-42. – EDN ХТСТСН.
8. Моделирование работы железобетонных конструкций при совместном воздействии механических и химических нагрузок / В. П. Селяев, П. В. Селяев, С. Ю. Грязнов [и др.] // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году : Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2022. – С. 421-433. – EDN FOJRON.
9. Кинетические модели взаимодействия цементных и полимерных бетонов с химически активными средами / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина, Е. С. Безрукова. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – 112 с. – ISBN 978-5-7103-4076-9. – EDN AOOCOF.
10. Оценка влияния химически активных агрессивных сред на процесс деградации композитов / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. В. Сорокин, Е. Л. Кечуткина // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Саранск, 17–19 октября 2018 года / Ответственный редактор Т.А. Низина. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. – С. 170-174. – EDN YSCJJE.
11. Строганов, В. Ф. Анализ проблемы биоповреждения, технологические и медико-биологические ас-



пекты биоповреждения строительных материалов / В. Ф. Строганов // Актуальные вопросы биологии, экологии и охраны природы : материалы национальной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, Санкт-Петербург, 16–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2024. – С. 73-76. – EDN XOUEDG.

12. Степанова, В. Ф. Долговечность бетона / В. Ф. Степанова. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 124 с. – ISBN 978-5-9729-1366-4. – EDN FRCPMF.

13. Рахимбаев, Ш. М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 23-24. – EDN PATBQD.

14. Рахимбаев, Ш. М. Кинетические константы твердения цемента / Ш. М. Рахимбаев, Т. В. Аниканова, А. С. Погромский // Химия, физика и механика материалов. – 2022. – № 1(32). – С. 5-14. – EDN HVIGQW.

15. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем / Ш.М. Рахимбаев//Бетон и железобетон. – 2012. – № 6. – С. 16–17.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 20.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 20.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Научная статья

УДК 69

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_1_190

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «МОМЕНТ-КРИВИЗНА» В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

© Авторы 2025
AuthorID: 1140647

БОСАКОВ Сергей Викторович
доктор технических наук, профессор
*Белорусский национальный технический университет;
Белорусско-Российский университет
(Беларусь, Минск)*

SPIN: 4836-8701

КОЗУНОВА Оксана Васильевна
кандидат технических наук, доцент
*Белорусский национальный технический университет;
Белорусско-Российский университет
(Беларусь, Минск)*

Аннотация. В работе сделана попытка использовать зависимость «момент-кривизна» для определения количества трещин, расстояния между ними и их ширину раскрытия в железобетонных балках. Основанием является известное предположение, что эта зависимость комплексно учитывает геометрические, физические и деформационные характеристики сечения железобетонной балки. Авторы отдают себе отчет, что поднятые в работе вопросы являются дискуссионными и будут благодарны читателям за конструктивное обсуждение и замечания.

Ключевые слова: механика деформируемого твердого тела; строительная механика; зависимость «момент-кривизна»; железобетонные балки; трещиностойкость; прочность железобетона

Для цитирования: Босаков С.В., Козунова О.В. Использование зависимости «момент-кривизна» в расчетах железобетонных балок по второй группе предельных состояний // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 190-193. doi:10.51608/26867818_2025_1_190.

Original article

USE OF THE MOMENT-CURVATURE RELATION IN CALCULATIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO THE SECOND GROUP OF LIMIT STATES

© The Author(s) 2025

BOSAKOV Sergey Viktorovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
*Belarusian National Technical University;
Belarusian-Russian University
(Belarus, Minsk)*

KOZUNOVA Oksana Vasilyevna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*Belarusian National Technical University;
Belarusian-Russian University
(Belarus, Minsk)*

Abstract. The paper attempts to use the “moment-curvature” relationship to determine the number of cracks, the distance between them and their opening width in reinforced concrete beams. The basis is the well-known assumption that this relationship comprehensively takes into account the geometric, physical, and deformation characteristics of the reinforced con-

crete beam section. The authors are aware that the issues raised in the paper are debatable and will be grateful to readers for constructive discussion and comments.

Keywords: mechanics of deformable solid body; construction mechanics; moment-curvature relation; reinforced concrete beams; cracking resistance; strength of reinforced concrete

For citation: Bosakov S.V., Kozunova O.V. Use of the moment-curvature relation in calculations of reinforced concrete beams according to the second group of limit states // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 190-193. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_190.

Применение зависимости «Момент-кривизна» в расчетах железобетонных балок положено В. И. Мурашевым [1]. Эту зависимость успешно применяли В. И. Соломин [2], О. В. Козунова [3-4], К. В. Юркова [5] в своих работах при нелинейных расчетах железобетонных балок и плит. Ниже предлагается использовать эту зависимость при определении характеристик трещиностойкости железобетонных балок. Подчеркнем, что эта зависимость комплексно учитывает прочностные и деформационные свойства бетона и арматуры, геометрические размеры сечения балки.

Стандартная зависимость «Момент-кривизна» для сечения железобетонной балки графически приведена на рисунке 1.

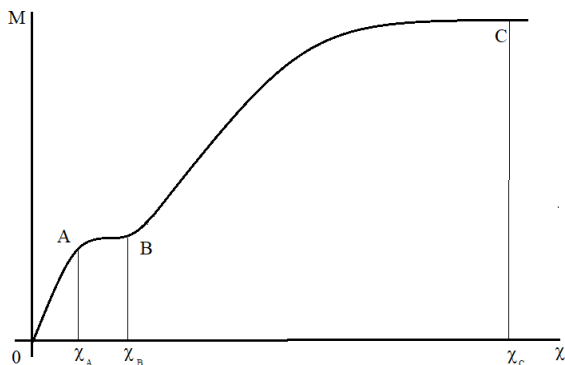


Рис. 1. Типичный вид зависимости «Момент-кривизна» для сечения железобетонной балки

Отметим характерные области и точки на этом графике. Точка А на графике "М – χ" характеризует образование первой трещины в сечении балки с максимальным изгибающим моментом. Эта точка также говорит об окончании линейно упругой работы данного сечения балки в области ОА.

Заметим, что в работе [6] показано, что зависимость «Момент-кривизна» носит энергетический смысл и его площадь дает погонную энергию деформаций изгиба в рассматриваемом сечении. Поэтому площадь треугольника $OA\chi_A$ суммарно по длине балки равна энергии деформаций изгиба, которая пошла на образование первой трещины в балке. Действительно [6,7], энергия деформаций изгиба равна

$$U_A = \int_0^\ell dx \int_0^{\chi_A} M(\chi) d\chi = \int_0^\ell dx \int_0^{\chi_A} B_0 \chi d\chi = \frac{B_0}{2} \int_0^\ell \chi^2 dx = \frac{B_0}{2} \int_0^\ell \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx, \quad (1)$$

где B_0 – начальная изгибная жесткость балки постоянного поперечного сечения и армирования;
 $y(x)$ – уравнение прогибов балки.

Точка В на рисунке 1 показывает включение арматуры в работу на участке между трещинами. При этом число образовавшихся трещин можно посчитать по формуле

$$n = \frac{U_B}{U_A}, \quad U_B = \int_0^\ell dx \int_0^{\chi_B} M(\chi) d\chi \quad (2)$$

Точка С дает возможность определить полную энергию деформаций изгиба и, следовательно на основании (2), число всех трещин перед разрушением балки.

Для железобетонной балки, армированной высокопрочной арматурой, зависимость «Момент-кривизна» приведена на рисунке 2.

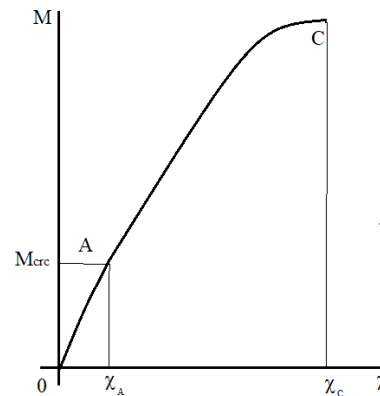


Рис. 2. Зависимость «Момент-кривизна» для железобетонной балки, армированной высокопрочной арматурой

В любой момент нагружения балки по рисунку 2 можно определить число трещин, образовавшихся на балке по формуле (2). Очевидно, размеры области трещинообразования на балке определится из уравнения

$$M - M_{cr} = 0 \quad (3)$$

Будем считать, что ширина раскрытия трещин линейно уменьшается с удалением от центральной



трещины в сечении с максимальным моментом. Тогда, зная расстояния между трещинами и размеры области трещинообразования, можно найти разность между длинами изогнутой оси балки в момент окончания и начала трещинообразования. Эта разность и составляет суммарную ширину раскрытия всех трещин, что позволяет найти максимальную ширину раскрытия центральной трещины. То есть, в случае шарнирно опертой балки и равномерно распределенной нагрузки ширина раскрытия центральной трещины будет равна

$$a_{cr} = \frac{l_1 - l_0}{n}; \quad l_1 = \int_0^{\ell} \sqrt{1 + \left(\frac{dy_1}{dx}\right)^2} dx; \quad (4)$$

$$l_0 = \int_{0d}^{\ell} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx;$$

В (4) A_1 определяется из расчета. Например, для шарнирно опертой железобетонной балки пролетом 6 м и $q = 20$ кН/м, сечением 40×60 см из бетона В25, армированной 3 стержнями АIII диаметром 20мм получено при пяти трещинах

$$A_0 = \frac{4}{\pi^5 B_0} q \ell^4; \quad y = A_0 \sin\left[\frac{\pi x}{\ell}\right]; \quad y_1 = A_1 \sin\left[\frac{\pi x}{\ell}\right];$$

$$A_0 = 0.001 \text{ м}; \quad A_1 = 0.024 \text{ м}; \quad a_{cr} = 0.00008 \text{ м}$$

Рассмотрим задачу аппроксимации зависимости «Момент-кривизна» для железобетонной балки аналитическими выражениями. Подобную задачу решила К.В. Дмитриева в своей диссертации [5]. Аппроксимация зависимости выполняется по методу наименьших квадратов [8] с помощью выражения

$$M(\chi) = B_1 \chi + B_2 \chi e^{-a|\chi|} + B_3 \chi^3 \quad (3)$$

и приведена на рисунке 3.

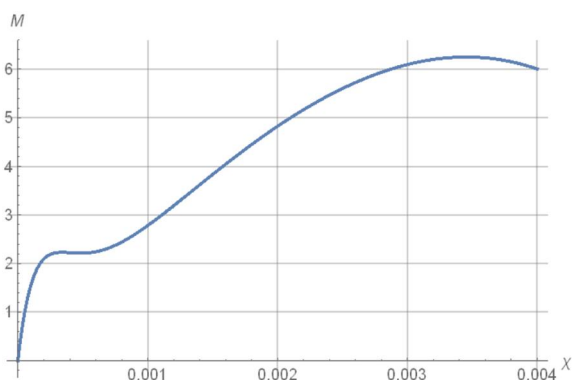


Рис. 3. Зависимость «Момент-кривизна» для железобетонной балки

Очевидно, сумма $B_1 + B_2$ дает численное значение начальной изгибной жесткости железобетонной балки.

Зависимость, приведенная на рисунке 2, обычно хорошо аппроксимируется кубической параболой

$$M(\chi) = B_0 \chi - B_1 \chi^3 \quad (4)$$

В (4) $B_1 = \frac{B_0}{3 \chi_c^2}$, где χ_c – предельное значение

кривизны в момент разрушения, соответствующее максимальному изгибающему моменту, воспринимаемому сечением.

Для шарнирно опертой и консольной балок в пределах длины балки кривизна имеет один знак. Поэтому при расчетах по второй группе предельных состояний для шарнирно опертой балки можно ограничиться представлением прогибов в виде [7]

$$y(x) = A_1 \sin\left[\frac{\pi x}{\ell}\right] \quad (5)$$

Тогда полная потенциальная энергия балки и действующей на нее нагрузки выразится формулой

$$\Phi = \int_0^{\ell} dx \int_0^{y''} M(\chi) d\chi - \int_0^{\ell} q(x) y(x) dx,$$

И при представлении (3) и (5) получается

$$\Phi = \frac{A^2 B_1 \pi^4}{4 \ell^3} - \frac{3 A_1^4 B_3 \pi^8}{32 \ell^7} + \frac{B_2 \ell}{\alpha^2} +$$

$$+ \frac{A_1 B_2 \pi^2 \left(I_1 \left(\frac{A_1 \pi^2 \alpha}{\ell^2} \right) - L_{-1} \left(\frac{A_1 \pi^2 \alpha}{\ell^2} \right) \right)}{\ell \alpha} \quad (6)$$

$$- \frac{B_2 \ell \left(I_0 \left(\frac{A_1 \pi^2 \alpha}{\ell^2} \right) - L_0 \left(\frac{A_1 \pi^2 \alpha}{\ell^2} \right) \right)}{\alpha^2} -$$

$$- A_1 \int_0^{\ell} q(x) y(x) dx,$$

где $I_k(z), L_k(z), k = 0, 1$ – функции Бесселя мнимого аргумента и Струве [9].

Дифференцируя (6) по A_1 и приравнявая производную нулю, из нелинейного уравнения численно находим A_1 . На основании полученного выражения (5) можно определять прогибы любого сечения шарнирно опертой балки от произвольной нагрузки.

Для консольной балки прогибы можно задавать в виде

$$y(x) = A_1 \left(1 - \cos \frac{\pi x}{2\ell} \right),$$

и выполнить вышеописанные операции как для шарнирно опертой балки.

При применении указанного подхода к статически неопределимым однопролетным железобетонным балкам необходимо иметь в виду следующее.

Балка с защемленной и шарнирной опорами имеет в пределах пролета кривизны двух знаков, то есть зависимость «Момент-кривизна» представляется в виде двух графиков, справедливых для двух частей балки с разными кривизной. Границы между частями определяются итерационным путем.



Аналогично, для балки с заземленными опорами границы между тремя частями также определяются итерационным путем.

Выводы

1. Использование аппроксимированной зависимости «Момент-кривизна» позволяет определить число и шаг трещины ширину их раскрытия при поперечном изгибе шарнирно опертых и консольных железобетонных балок.

2. Использование полученной зависимости «Момент-кривизна» дает возможность определять прогибы шарнирно опертых и консольных железобетонных балок при любой нагрузке.

Библиографический список

1. Мурашев В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. - М., Машстройиздат, 1950. 268 с.
2. Соломин В.И., Шматков С.Б. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций. - М., Стройиздат, 1986. 92с.

3. Козунова, О. В. Общий подход к расчету сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании / О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2021. – № 2(295). – С. 2-15. – DOI 10.37538/0039-2383.2021.2.2.15. – EDN YAIIAZ.

4. Козунова, О. В. Нелинейный расчет железобетонной балки на упругом основании с помощью зависимости "жесткость-кривизна" / О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2022. – № 1(300). – С. 37-46. – DOI 10.37538/0039-2383.2022.1.37.46. – EDN IREJFH.

5. Kseniya Yurkova. Numeryczno-analityczna metoda obliczanie linio wo-sprezystejszciany osadzoney w podtozus przystym. Politechnika Czestochwska, 1924, 104 с.

6. Босаков, С.В. Об одном свойстве зависимости "момент - кривизна" для балок и его использовании в инженерных расчетах / С.В. Босаков, Н.С. Щетько // Строительная наука и техника. - 2006. - № 1. - С. 58-61.

7. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. - М., ФМ, 1959. 459 с.

8. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. - М., ФМ, 1967. 368 с.

9. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. - М., ФМ., 1963. 1100 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.



Научная статья

УДК 539.42, 624.046.2

ГРНТИ: 30.19.53: Прочность строительных конструкций; 67 Строительство и архитектура

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

doi:10.51608/26867818_2025_1_194

О ДИЛАТАЦИИ ГИБКИХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА ПРЕДЕЛАМИ УПРУГОСТИ

© Авторы 2024

SPIN: 8966-7812

ORCID 0000-0001-8601-4021

ScopusID: 6507502084

ResearcherID: ABA-7387-2021

ТРЕЩЁВ Александр Анатольевич

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой ССМиК

Российская академия архитектуры и строительных наук;

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: taa58@yandex.ru)

SPIN: 8751-6112

ScopusID: 57205734891

ResearcherID: P-4744-2015

БОБРЫШЕВ Александр Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Казанский Федеральный Университет

(Россия, Набережные Челны, e-mail: borisov800@mail.ru)

Аннотация. Анализируется построенная математическая модель нелинейного изгиба тонких пластин с круговым контуром. Деформирование конструкций исследуется за пределами упругости и с учетом пластической дилатансии. В процессе постановки задачи оценено применение известных условий пластичности дилатирующих материалов с демонстрацией преимуществ, предложенных ранее автором статьи. Ввиду этого основой модели послужили условия, связанные с нормированным девиаторным пространством напряжений. Исследованы конечные прогибы пластин при осесимметричных нагрузках в границах Т.Кармана. В качестве материалов конструкций выбраны композиты, у которых до развития пластических деформаций не обнаруживаются дилатационные проявления, в упругой области они подчиняются закону Гука в трехмерном пространстве. Для сравнения полученных результатов решения тестовых задач анализировались возможные применения уравнений, постулированных автором и предложенные Ломакиным Е.В., как достаточно апробированные для пластически дилатирующих композитов. В результате получены распределения основных параметров НДС конструкций, выявлены количественные и качественные особенности деформирования конструкций, вызванные пластической дилатансией.

Ключевые слова: дилатансия; условия пластичности; геометрическая нелинейность; конечно-разностная аппроксимация; нормированное пространство; интенсивность напряжений; механика деформируемого твердого тела

Для цитирования: Трещев А.А., Бобрышев А.А. О дилатации гибких круглых пластин из композитных материалов за пределами упругости // Эксперт: теория и практика. 2025. № 1 (28). С. 194-204. doi:10.51608/26867818_2025_1_194.

Original article

ON THE DILATION OF FLEXIBLE ROUND PLATES MADE OF COMPOSITE MATERIALS BEYOND THE LIMITS OF ELASTICITY

© The Author(s) 2025

TRESHCHEV Alexander Anatolyevich

Corresponding Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures

RAACS; Tula State University

(Russia, Tula, e-mail: taa58@yandex.ru)

BOBRYSEV Alexander Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kazan Federal University

(Russia, Naberezhnye Chelny)



Abstract. The constructed mathematical model of nonlinear bending of thin plates with a circular contour is analyzed. The deformation of structures is investigated beyond the limits of elasticity and taking into account plastic dilatancy. In the process of setting the problem, the application of known plasticity conditions of insulating materials is evaluated with a demonstration of the advantages proposed earlier by the author of the article. In view of this, the model was based on the conditions associated with the normalized deviatoric stress space. The final deflections of the plates under axisymmetric loads within the boundaries of the Pocket are investigated. Composites have been selected as structural materials, in which dilation manifestations are not detected before the development of plastic deformations, in the elastic region they obey Hooke's law in three-dimensional space. To compare the obtained results of solving test problems, the possible applications of the equations postulated by the author and proposed by E.V. Lomakin were analyzed as sufficiently tested for plastically dilating composites. As a result, distributions of the main parameters of VAT structures were obtained, quantitative and qualitative features of deformation of structures caused by plastic dilatation were revealed.

Keywords: dilatancy; plasticity conditions; geometric non-linearity; finite-difference approximation; normalized space; stress intensity; mechanics of deformable solid body

For citation: Treshchev A.A., Bobryshev A.A. Use of the moment-curvature relation in calculations of reinforced concrete beams according to the second group of limit states // Expert: theory and practice. 2025. № 1 (28). Pp. 194-204. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_1_194.

Введение. При проектировании и разработке пространственных конструкций особое значение имеют деформационно-прочностные расчеты не только в упругой области деформаций, но и за ее пределами. Особенно актуальность этого повышается при широком применении в строительстве и во многих отраслях техники новых композитных материалов с использованием карбонов и полимерных субстанций. Эффект пластической дилатации интуитивно был известен давно, но на него не обращали особого внимания, считая, что все само собой будет учтено, если соблюсти при постулировании условий пластичности некое соответствие простейшим одиночным эмпирическим данным. По-видимому, впервые влияние средних напряжений на начало пластических деформаций учитывалось с 1773 года в теории Кулона – Мора, а в дальнейшем появился ряд работ в этом направлении. К подобным исследованиям можно отнести работы К.Шлейхера, П.П. Баландина, И.Н. Миролюбова, Ю.Я. Ягна, Л.К. Лукши, Друккера – Прагера, Г.А. Гениева и В.Н. Киссюк, Л.А. Толоконникова, Н.И. Карпенко, Р.Дж. Грина, М.М. Алиева, Н.Г. Каримова, С.В. Шафиевой, Г.С. Писаренко и А.А. Лебедева, А.Е. Цыбулько [1-12]. Многие из перечисленных условий пластичности и прочности пригодны, да и специально разрабатывались для узкого класса широко распространенных с давних пор конструкционных материалов типа бетона, чугуна, грунта и скальных пород, различных марок стали (в особых условиях) и сплавов. При этом, зачастую, предполагалась автоматическая пригодность этих условий и к определению предельных состояний композитных материалов. Кроме того, в основном абсолютизировалось ориентация только на два – три предела текучести или прочности материала, определенных из экспериментов по осевым растяжению, сжатию и сдвигу (чистому кручению трубчатых образцов). Во многих случаях этих констант оказывается совершенно недостаточно для обеспече-

ния надежности расчетов пространственных и объемных конструкций.

Принятое условие предельного состояния. В свете вышеизложенного интенсивное применение полимерных и композитных материалов в составе строительных конструкций и других элементов технических объектов определило особое внимание к учету дилатансии последних. Тем более что в результате проведенных многочисленных испытаний была подтверждена зависимость параметров предельных состояний композитов от вида нагружения с проявлением необратимой сжимаемости либо разрыхления [13-19]. Для расчета конструкций, работающих под нагрузкой не только в упругой стадии деформирования, но и за ее пределами, применительно к дилатирующим композитам получили распространение условия предельных состояний, сформулированные Ломакиным Е.В. (является членом-корреспондентом РАН) [15]:

$$F(\sigma_{ij}) = f(\xi^*) \sigma_i = k, \quad (1)$$

где $f(\xi^*)$ – функциональная зависимость, устанавливающая связь предельных свойств с видом напряженного состояния; $k = \sqrt{3} \tau_s$; τ_s – напряжения, определяющие начало развития пластических деформаций при сдвиге; $\xi^* = \sigma / \sigma_i$ – инвариант, устанавливающий вид напряженного состояния; $\sigma = \delta_{ij} \sigma_{ij} / 3$ – гидростатическое напряжение; $\sigma_i = \sqrt{3 S_{ij} S_{ij}} / 2$ – интенсивность напряжений; $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma$ – тензор девиатор напряжений; δ_{ij} – тензор Кронекера.

Автором публикации [15] рекомендовано определять функциональную зависимость $f(\xi^*)$ из экспериментов по пластическому деформированию эталонных образцов материала в широком спектре видов напряженного состояния. Причем как выяснилось, эмпирически определенные функции $f(\xi^*)$ де-



монстрируют для некоторых материалов обобщающий характер условия (1), сводя последнее к известным ранее критериям [2, 4, 18]. Гладкая функция $\xi^* = \sigma / \sigma_i$ и ее прототип в пространстве деформаций, были применены в исследованиях Панферова В.М., Березина А.В., Работнова Ю.Н. и Ломакина Е.В. [2; 20-21], но в последние два года обнаруживаются статьи [22], обосновывающие применение этих функций как оригинальных. Отметим, что феноменологический закон (1) использовался при постановке и решении краевых тестовых задач механики в узких границах изменения $f(\xi^*)$ [15].

Не вызывает сомнения, что функция $\xi^* = \sigma / \sigma_i$ теоретически определена в сомнительном интервале $\pm\infty$, приводящим к неопределенностям при использовании в расчетах. Применение этой функции часто критически оценивалось на разных уровнях: деформационном и предельном [23-26]. Использование функции $\xi^* = \sigma / \sigma_i$ дало возможность для аппроксимации данных экспериментов по пластическому деформированию конструкционных материалов различными аналитическими зависимостями $f(\xi^*)$. Однако во многих случаях параметр ξ^* приводит к нарушению существования $f(\xi^*)$ за пределами узкой области изменения ξ^* , а это нарушает возможность применения условия пластичности (1) даже для тех материалов, для которых оно и разрабатывалось. Поэтому в свое время одним из авторов данной работы были предложены условия определения предельных состояний композитов, проявляющих дилатансию, опубликованные и всесторонне апробированные в статьях [25-27]. Эти условия свободны от указанных недостатков [15] и представлены в виде:

$$F(\sigma_{ij}) = f(\xi)\tau = k_\tau, \quad (2)$$

где $\xi = \sigma / S_0$ – нормальное нормированное напряжение на девиаторной плоскости с интервалом непрерывного существования ± 1 ; $\tau = \sqrt{S_i S_j} / 3$ – октаэдрическое касательное напряжение ($\tau = \sigma_i \sqrt{2} / 3$); $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – нормировочный вектор инвариантного пространства; $k_\tau = \sqrt{2/3} \tau_s$.

Условие предельных состояний (2) апробировано с использованием широкого диапазона экспериментальных исследований применительно ко многим материалам различной структуры. Наиболее статистически обоснованные представления $f(\xi)$, согласующиеся с эмпирическими сведениями по пластическому деформированию ряда композитов имеются в работах [25-27]. Там приведены константы и функции для полиметилметакрилата, фенопласта АГ-4В, графито-композитов ВПП и МПГ-6, чу-

гуна марки МСЧ38-60. Указанным материалам соответствуют линейные, экспоненциальные, сингулярно-линейные и сингулярно-экспоненциальные представления материальной функции $f(\xi)$. Там же, пользуясь методикой ассоциированных законов пластичности, получен полный комплект уравнений пластического течения. Кроме того, условие (2) универсализируется при распространении его не серьезно кристалльно упакованные и почти идеальные материалы как титановые сплавы, но находящиеся под действием агрессивного проникновения атомарных компонентов, содержащих водород [28-29]. Все это позволяет использовать предложенное условие (2) применительно к разработке математической модели изгибного деформирования круглых пластин при возрастании напряжений выше пределов упругости в процессе поперечного нагружения.

Задача и ее постановка. Анализируется изгибное деформирование пластин толщиной h с радиальными границами контура R , которые в виду соотношений h/R относятся к категории тонких, а по роду материалов – к гибким и изготовленные из композитов, развитие пластических деформаций у которых зависят от вида напряженного состояния и связано с дилатацией. Нагрузкой для пластины принята поперечная, с распределением интенсивностью q по ее верхней плоскости и осевой симметрией. Пластины такой конфигурации привязываются к цилиндрической координатной системе; r, θ, z . Точки сечений пластины, расположенные на одной окружности в виду осевой симметрии, испытывают одинаковые напряженно-деформированные состояния. Радиальные координаты относительно центра пластины обозначены через r , прогибы срединной поверхности – $w = w(r)$, а координата z направлена в сторону возрастания прогибов. Для принятого класса изотропных пластин применение гипотез Кирхгофа – Лява не противоречит принятой в технических и физико-математических науках точности расчетов. Тогда в рамках точности формализма Кармана [30] зависимости компонентов деформаций пластины в произвольной точке ее сечений от перемещений изогнутой срединной поверхности устанавливались в традиционном виде:

$$\begin{aligned} e_r &= \varepsilon_r - z \frac{d^2 w}{dr^2}; & e_\theta &= \varepsilon_\theta - z \frac{1}{r} \frac{dw}{dr}; \\ \varepsilon_r &= \frac{du}{dr} + \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2; & \varepsilon_\theta &= \frac{u}{r}, \end{aligned} \quad (3)$$

где ε_k – мембранные деформации в срединной плоскости ($k = r, \theta$); u – радиальные перемещения в срединной плоскости.

Отметим, что деформации ε_r и ε_θ обусловлены не только ее растяжением как в упругой, так и



в пластической области деформирования при конечных прогибах, но и – различие пределов текучести композита в растягиваемой и в сжимаемой зонах.

Учитывая специфику криволинейной ортогональной системы координат и принятые традиционные гипотезы для тонких гибких пластин, преобразуем октаэдрическое касательное напряжение, фигурирующее в условии пластичности (2) к упрощенной форме:

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_r \sigma_\theta}. \quad (4)$$

Упрощению также подлежат представления для среднего напряжения и нормы векторного пространства:

$$\sigma = (\sigma_r + \sigma_\theta) / 3; \quad S_0 = \sqrt{(\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2) / 3}. \quad (5)$$

Для дальнейшего построения математической модели нелинейного изгиба круглых пластин от неизвестной функции прогибов удобно перейти к углу поворота сечений $\phi = \frac{dw}{dr}$.

Ввиду того, что получаемые дифференциальные уравнения разрешающей системы, определяемой деформирование гибких пластин, являются существенно нелинейной, непосредственное аналитическое решение их в замкнутой форме получить не удастся, то предлагается использовать для этой цели двухшаговый метод последовательных возмущений параметров [31] с предварительной линеаризацией в соответствие с методикой последовательных нагружений, разработанных Петровым В.В. В соответствии с этим принимаются малые приращения интенсивности поперечной нагрузки δq , которые приводят к возмущениям возникающих перемещений срединной плоскости – $\delta\phi$ и δu .

Приращения деформаций определяются через приращения перемещений срединной плоскости простейшим образом:

$$\delta e_r = \delta \varepsilon_r - z \frac{d\delta\phi}{dr}; \quad \delta e_\theta = \delta \varepsilon_\theta - z \frac{1}{r} \delta\phi \quad (6)$$

где $\delta \varepsilon_r = \frac{d\delta u}{dr} + \phi_k \delta\phi$; $\delta \varepsilon_\theta = \frac{\delta u}{r}$; $\delta\phi = \frac{d\delta w}{dr}$; ϕ_k – суммарная функция углов поворота срединной поверхности, определяемая накоплением приращений со всех этапов предыдущего нагружения включительно до k -го.

Проследивая развитие процесса деформирования пластины в упругой стадии, определим приращения напряжений при выполнении обобщенного закона Гука и принятых гипотез в виде:

$$\begin{aligned} \delta\sigma_r &= \frac{E}{1-\nu^2} (\delta e_r + \nu \delta e_\theta); \\ \delta\sigma_\theta &= \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \delta e_r + \delta e_\theta). \end{aligned} \quad (7)$$

Приращения усилий определяются интегрированием приращений напряжений по толщине пластины:

$$\delta N_i = \int_{-h/2}^{h/2} \delta\sigma_i dz; \quad \delta M_i = \int_{-h/2}^{h/2} \delta\sigma_i z dz; \quad (i=r, \theta). \quad (8)$$

Совместное рассмотрение представлений (6), (7) и (8) позволяет получить уравнения:

$$\begin{aligned} \delta N_r &= D_1 \left(\frac{d\delta u}{dr} + \phi_k \delta\phi + \nu \frac{\delta u}{r} \right); \\ \delta M_r &= -D \left(\frac{d\delta\phi}{dr} + \frac{\nu}{r} \delta\phi \right); \\ \delta N_\theta &= D_1 \left(\nu \frac{d\delta u}{dr} + \nu \phi_k \delta\phi + \frac{\delta u}{r} \right); \\ \delta M_\theta &= -D \left(\nu \frac{d\delta\phi}{dr} + \frac{1}{r} \delta\phi \right), \end{aligned} \quad (9)$$

где $D_1 = Eh / (1 - \nu^2)$; $D = Eh^3 / [12(1 - \nu^2)]$.

Для конкретизации прикладываемой поперечной нагрузки к пластине примем равномерное ее распределение. Тогда статические зависимости для круглой гибкой пластины, выраженные в приращениях, приводятся к известной форме [31]:

$$\begin{aligned} \delta N_r - \delta N_\theta + r \frac{d\delta N_r}{dr} &= 0; \\ \frac{d\delta M_r}{dr} + \frac{\delta M_r - \delta M_\theta}{r} &= -\phi_k \delta N_r - N_{rk} \delta\phi - \frac{r\delta q}{2}, \end{aligned} \quad (10)$$

где N_{rk} – величина радиального усилия, получаемая как сумма приращений со всех предыдущих этапов нагружения пластины.

Система разрешающих линеаризованных дифференциальных уравнений, представленных в перемещениях $\delta\phi$ и δu , формулируются из совокупности зависимостей (9) и (10):

$$\begin{aligned} D_1 \left(\frac{d^2 \delta u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\delta u}{dr} - \frac{\delta u}{r^2} + \frac{d\phi_k}{dr} \delta\phi + \frac{d\delta\phi}{dr} \phi_k + \right. \\ \left. + \frac{(1-\nu)}{r} \phi_k \delta\phi \right) = 0; \\ D \left(\frac{d^2 \delta\phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\delta\phi}{dr} - \frac{\delta\phi}{r^2} \right) - \\ D_1 \left(\frac{d\delta u}{dr} \phi_k + \phi_k^2 \delta\phi + \frac{\nu}{r} \delta u \phi_k + N_{rk} \delta\phi \right) = \frac{r\delta q}{2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Как показано в работах [13, 15, 17 – 19] у широкого класса композитов при упругом деформировании дилатация не проявляется. Тогда при изгибе пластин до предела упругости их математическая модель определяется уравнениями (11). Распределение напряжений в поперечном сечении элемента пластины в упругой стадии деформирования будет соответствовать эпюре изображенной, на рис. 1.

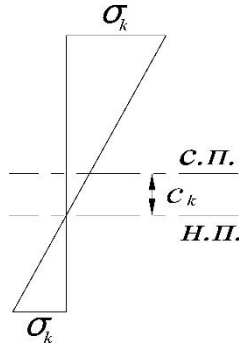


Рис. 1

При выходе состояний конструкций за пределы упругости необходимо эту модель (11) преобразовать с учетом того, что в процессе развития пластических деформаций могут проявиться две их стадии как развитие односторонней пластичности и двусторонней. Для определения характеристик этих стадий введем следующие обозначения: A_k – напряжения, приводящие к развитию пластичности в нижней зоне; B_k – напряжения начала пластического течения в верхней зоне (рис. 2). Введенные уровни напряжений A_k и B_k вычисляются в соответствии с условием (2).

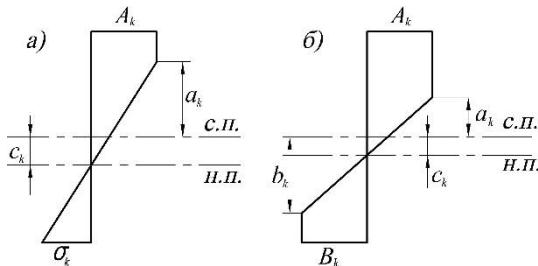


Рис. 2

Очевидно, что области развития пластических зон по глубине для всех направлений ($k=r, \theta$) одинаковы в конкретных сечениях пластины, так как они определяются совокупностью напряжений, входящих в условие пластичности (2), а не частным напряжением. В соответствии с этим можно опустить индексацию параметров a_k и b_k (рис. 2), введя общие обозначения a , b . При этом приращения напряжений представим в виде:

$$\delta\sigma_r = k(\delta\eta_r - z \cdot \delta\Delta_r); \quad \delta\sigma_\theta = k(\delta\eta_\theta - z \cdot \delta\Delta_\theta), \quad (12)$$

где $k = E / (1 - \nu^2)$; $\delta\Delta_r = \frac{d\delta\phi}{dr} + \frac{\nu}{r}\delta\phi$;

$$\delta\Delta_\theta = \nu \frac{d\delta\phi}{dr} + \frac{1}{r}\delta\phi; \quad \delta\eta_r = \delta\varepsilon_r + \nu \cdot \delta\varepsilon_\theta;$$

$$\delta\eta_\theta = \nu \cdot \delta\varepsilon_r + \delta\varepsilon_\theta.$$

Приращения усилий и моментов определяются по правилам интегрирования:

а) для односторонней пластичности

$$\delta N_k = \int_{-h/2}^{h/2} \delta\sigma_k dz = \int_{-h/2}^b B_k dz + \int_b^{h/2} \delta\sigma_k dz; \quad (13)$$

$$\delta M_k = \int_{-h/2}^{h/2} \delta\sigma_k z dz = \int_{-h/2}^b B_k z dz + \int_b^{h/2} \delta\sigma_k z dz; \quad (14)$$

б) для двусторонней пластичности

$$\delta N_k = \int_{-h/2}^{h/2} \delta\sigma_k dz = \int_{-h/2}^b B_k dz + \int_b^a \delta\sigma_k dz + \int_a^{h/2} A_k dz. \quad (15)$$

$$\delta M_k = \int_{-h/2}^b B_k z dz + \int_b^a \delta\sigma_k z dz + \int_a^{h/2} A_k z dz. \quad (16)$$

Тогда принимая во внимание уравнения (12) – (16), для приращений усилий и моментов получим:

$$\text{а) в случае односторонней пластичности} \\ \delta N_k = C_k + G\delta\Delta_k; \quad \delta M_k = P_k + R\delta\Delta_k, \quad (17)$$

где $C_k = k\delta\eta_k (h/2 - b) + A_k (h/2 + b)$;

$$G = -k(h^2/4 - b^2)/2; \quad P_k = (h^2/4 - b^2)(k\delta\eta_k - B_k)/2,$$

$$R = -k(h^3/8 - b^3)/3;$$

б) в случае двусторонней пластичности

$$\delta N_k = K_k + L\delta\Delta_k; \quad \delta M_k = S_k + T\delta\Delta_k, \quad (18)$$

где $K_k = A_k (h/2 + b) + B_k (h/2 - a) + k\delta\eta_k (a - b)$,

$$L = -k(a^2 - b^2)/2; \quad S_k = A_k (h^2/4 - a^2)/2 -$$

$$-B_k (h^2/4 - b^2)/2 + k\delta\eta_k (a^2 - b^2)/2; \quad T = k(b^3 - a^3)/3.$$

Далее проведя манипуляции с совокупностью зависимостей в приращениях также, как при упругом деформировании пластины, получим систему линеаризованных разрешающих уравнений в случае развития односторонней и двусторонней пластичности. В первом случае имеем:

$$\begin{aligned} & -\frac{k}{2}(1-\nu)\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)\left(\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{1}{r}\delta\phi\right)+ \\ & +k(1-\nu)\left(\frac{h}{2}-b\right)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi+\frac{1}{r}\delta u\right)+ \\ & +(B_r-B_\theta)\left(\frac{h}{2}+b\right)-\frac{kr}{2}\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)\left(\frac{d^2\delta\phi}{dr^2}+\frac{\nu}{r}\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{\nu}{r^2}\delta\phi\right)+ \\ & +k\left(\frac{h}{2}-b\right)\left(\frac{d^2\delta u}{dr^2}+\frac{d\phi_k}{dr}\delta\phi+\phi_k\frac{d\delta\phi}{dr}+\frac{\nu}{r}\frac{d\delta u}{dr}-\frac{\nu}{r^2}\delta u\right)=0; \\ & \frac{k}{3}\left(\frac{h^3}{8}-b^3\right)\left(\frac{d^2\delta\phi}{dr^2}+\frac{\nu}{r}\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{\nu}{r^2}\delta\phi\right)+ \\ & +\frac{k}{2}\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)\left(\frac{d\delta\phi}{dr}+\frac{\nu}{r}\delta\phi\right)\phi_k- \\ & -\frac{k}{2}\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)\left(\frac{d^2\delta u}{dr^2}+\frac{d\phi_k}{dr}\delta\phi+\phi_k\frac{d\delta\phi}{dr}+\frac{\nu}{r}\frac{d\delta u}{dr}-\frac{\nu}{r^2}\delta u\right)- \\ & -N_{rk}\delta\phi+\frac{k}{3r}(1-\nu)\left(\frac{h^3}{8}-b^3\right)\left(\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{1}{r}\delta\phi\right)- \\ & -\frac{k}{2r}(1-\nu)\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi-\frac{1}{r}\delta u\right)+ \end{aligned} \quad (19)$$



$$+\frac{1}{2r}\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)(B_r-B_\theta)-$$

$$-\left(\frac{h}{2}+b\right)B_r\phi_k-\left(\frac{h}{2}-b\right)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi+\frac{v}{r}\delta u\right)\phi_k=\frac{r\delta q}{2}.$$

Во втором случае получим:

$$(B_r-B_\theta)\left(\frac{h}{2}+b\right)+(A_r-A_\theta)\left(\frac{h}{2}-a\right)+$$

$$+\frac{k}{2}(1-\nu)(b^2-a^2)\left(\frac{d\delta\phi}{dr}+\frac{v}{r}\delta\phi\right)+$$

$$+k(1-\nu)(a-b)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi-\frac{1}{r}\delta u\right)-$$

$$-\frac{kr}{2}(a^2-b^2)\left(\frac{d^2\delta\phi}{dr^2}+\frac{v}{r}\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{v}{r^2}\delta\phi\right)+$$

$$+kr\left(\frac{h}{2}-b\right)\left(\frac{d^2\delta u}{dr^2}+\frac{d\phi_k}{dr}\delta\phi+\phi_k\frac{d\delta\phi}{dr}+\frac{v}{r}\frac{d\delta u}{dr}-\frac{v}{r^2}\delta u\right)=0;$$

$$\frac{k}{3}(a^3-b^3)\left(\frac{d^2\delta\phi}{dr^2}+\frac{v}{r}\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{v}{r^2}\delta\phi\right)+$$

$$+\frac{k}{3r}(1-\nu)(a^3-b^3)\left(\frac{d\delta\phi}{dr}-\frac{1}{r}\delta\phi\right)+$$

$$-\frac{k}{2}(a^2-b^2)\left(\frac{d^2\delta u}{dr^2}+\frac{d\phi_k}{dr}\delta\phi-\frac{v}{r}\phi_k\delta\phi+\frac{v}{r}\frac{d\delta u}{dr}-\frac{v}{r^2}\delta u\right)-$$

$$-\frac{1}{2r}\left(\frac{h^2}{4}-a^2\right)(A_r-A_\theta)-$$

$$-\frac{k}{2r}(1-\nu)(a^2-b^2)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi-\frac{1}{r}\delta u\right)+$$

$$+\frac{1}{2r}\left(\frac{h^2}{4}-b^2\right)(B_r-B_\theta)-\left(\frac{h}{2}+b\right)B_r\phi_k-$$

$$-\left(\frac{h}{2}-a\right)A_r\phi_k-k(a-b)\left(\frac{d\delta u}{dr}+\phi_k\delta\phi+\frac{v}{r}\delta u\right)\phi_k-$$

$$-N_{rk}\delta\phi=\frac{r\delta q}{2}.$$

(20)

Совокупность дифференциальных уравнений, входящих в две системы (19) и (20) представляют собой математическую модель деформирования гибких круглых пластин во всех стадиях изменения напряженно-деформированных состояний, включающие упругое сопротивление и обе стадии развития пластической дилатации вплоть образования сквозной пластичности. При деформировании пластины в упругой стадии значения параметров A_k и B_k равнялись нулю, а координаты проникновения пластичности a и b соответственно равны $-h/2$ и $+h/2$ (т. е. пластичность нулевая). При вступлении материала в пластическую стадию деформирования указанные переменные приобретают конкретные значения, отличающиеся от $\pm h/2$.

К уравнениям (19) и (20) добавляются граничные условия в приращениях:

а) при жесткой заделке контура – $\delta u=0$;
 $\delta\phi=0$; $\delta w=0$;

б) при шарнирном закреплении – $\delta u=0$;
 $\delta M_r=0$; $\delta w=0$;

в) при подвижном защемлении – $\delta N_r=0$;
 $\delta\phi=0$; $\delta w=0$;

г) для свободного опирания – $\delta N_r=0$;
 $\delta M_r=0$; $\delta w=0$.

Расчет осесимметричного нелинейного изгиба круглых пластин за пределами упругости и анализ полученных результатов. Для решения линейаризованных дифференциальных уравнений (19) и (20) привлекался конечно-разностный метод. Благодаря осевой симметрии нагружения и деформирования пластины кругового очертания ее радиус разбивался на реперные точки, в которых за исключением контурных и центральной производные функций аппроксимировались центральными разностями, а в контурных и центральных точках применялись односторонние (левые или правые) разности. Полученная таким образом система алгебраических уравнений решалась методом Гаусса. Интегралы по толщине пластины вычислялись по методу Симпсона. Разработанный алгоритм расчета реализован в программной среде «Maple».

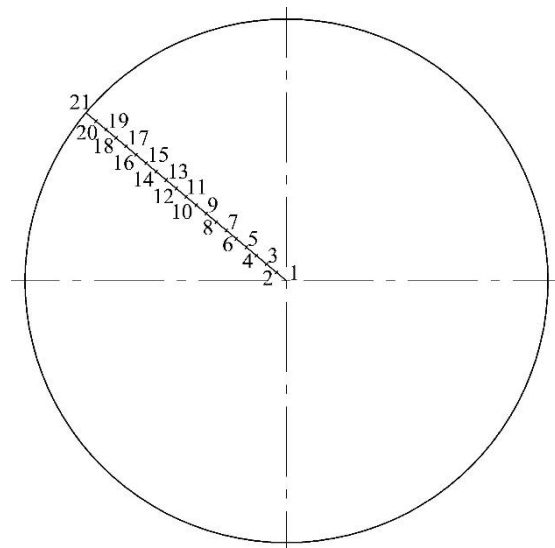


Рис. 3

Для конкретных расчетов были приняты круглые пластины, выполненные из конструкционного графитового композита МПГ-6 и полиметилметакрилата. Расчет проводился с использованием трех разных условий пластичности, двух – учитывающих развитие пластической дилатации и одного – без учета. Решения, полученные на основе авторской модели условия пластичности (2) обозначены через «Тр» (сплошные линии графиков, приведенных ниже), модели (1) – «Л» (штриховые линии), на основе класси-



ческого условия пластичности Губера – Мизеса – Генки, пренебрегающего дилатацией – «ГМГ» (штрихпунктирные линии). В качестве объекта расчета принята круглая в плане пластина толщиной $h=10$ мм для графита МПГ-6, $h=20$ мм для полиметилметакрилата, радиус пластин – $R=300$ мм. Радиус пластин представлялся лучом, имеющим по длине равноудаленные 21 узловые точки (для обеспечения необходимой точности). На рис. 3 приведена расчетная схема круглой пластины.

Для двух материалов были приняты следующие характеристики упругости: а) для графита МПГ-6 коэффициент Пуассона $\nu = 0,25$, модуль упругости $E=10000$ МПа; б) для полиметилметакрилата $\nu = 0,3$, $E=3300$ МПа. Функции пластичности и пределы текучести были экспериментально обоснованы в работах автора [23 – 27] следующие: $f(\xi) = \exp[(A_1 + A_2 \text{Sign}\xi)\xi]$, $A_1 = 1,045$, $A_2 = -0,305$, $k_\tau = 21,68$ МПа (графит МПГ-6) и $f(\xi) = \exp(A_1\xi)$, $A_1 = 0,424$, $k_\tau = 58,9$ МПа (полиметилметакрилат).

Шаг по нагрузке для всех трех вариантов расчета выбирался в зависимости от стадии напряженно-деформированного состояния конструкции равным 5 кПа при упругой работе материала и 1 кПа при пластической, а по мере роста величины прогибов снижался до 100 Па (для обеспечения необходимой точности расчетов).

Реперные результаты расчета жестко защемленной по контуру пластины, выполненной из графитокомпозита МПГ-6, приведены в табл. 1 (в скобках указаны номера точек, в которых впервые возникла пластичность) и на рис. 4 – 9. На рис. 4 – 7 приведены картины кинетики появления и развития зон пластичности в плане пластины, на рис. 8 – по толщине с ростом нагрузки, а на рис. 9 – зависимость максимальных прогибов от величины интенсивности нагрузки.

Таблица 1

Вариант расчета	Нагрузка при появлении пластических деформаций, МПа		Нагрузка при образовании сквозной пластичности (пластические шарниры), МПа
	в верхней зоне	в нижней зоне	
Тр	62,7 (21)	100,7 (1)	221,6
Л	56,8 (21)	73,0 (1)	197,9
ГМГ	82,5 (21)	103,4 (21)	324,3

Анализ рассчитанных характерных нагрузок для пластины, работающей за пределами упругости, приведенных в табл. 1, иллюстрирует тот факт, что момент появления пластических деформаций на нижней плоскости согласно варианту расчета «Тр» отличается от решения «ГМГ» по интенсивности незначительно всего на 2,7%. Для варианта расчета «Л» подобное отличие достигает 41,6%, а между собой эти нагрузки, полученные вариантом «Тр» и «Л», имеют разницу в 37,9%. Качественные картины воз-

никновения пластических деформаций на нижних плоскостях для «Тр» и «Л» совпадают (место появления в точке 1), но отличаются от «ГМГ», где пластичность возникает в точке 21.

Появление пластических деформаций на верхней плоскости согласно варианту «Тр» происходит при интенсивности нагрузки на 31,6% меньшей, чем по варианту «ГМГ». Для варианта расчета «Л» подобная разница достигает 45,2%. Разница в подобных нагрузках между вариантами «Тр» и «Л» составляет 10,9%. При этом качественные картины возникновения пластических деформаций на верхней плоскости пластины для всех вариантов условий пластичности совпадают и они начинают развиваться в точках защемленного контура.

Нагрузки, при которых возникает сквозная пластичность на всю толщину пластины, рассчитанные по модели «Тр» и по «ГМГ» отличаются на 46,3%. Для варианта «Л» подобная разница 63,9%. Различие предельных нагрузок между вариантом «Тр» и «Л» составляет 11,9%.

Рис. 4 – 7 иллюстрируют картины развития зон пластичности по плоскостям пластины для трех вариантов расчета «Тр», «Л» и «ГМГ».

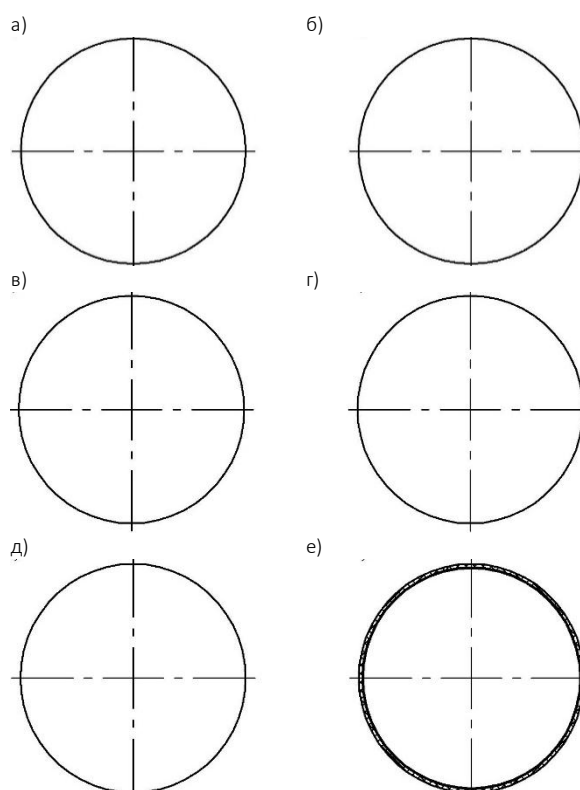


Рис. 4. Контур зон пластичности на нижней (а, в, д) и на верхней (б, г, е) плоскостях пластины при $q=62$ кПа по вариантам: а, б – Тр; в, г – Л; д, е – ГМГ

Впервые пластические деформации возникают у варианта расчета «Л» в волокнах верхней зоны. Из сравнения результатов расчета пластических областей вариантов «Тр» и «Л», видно, что

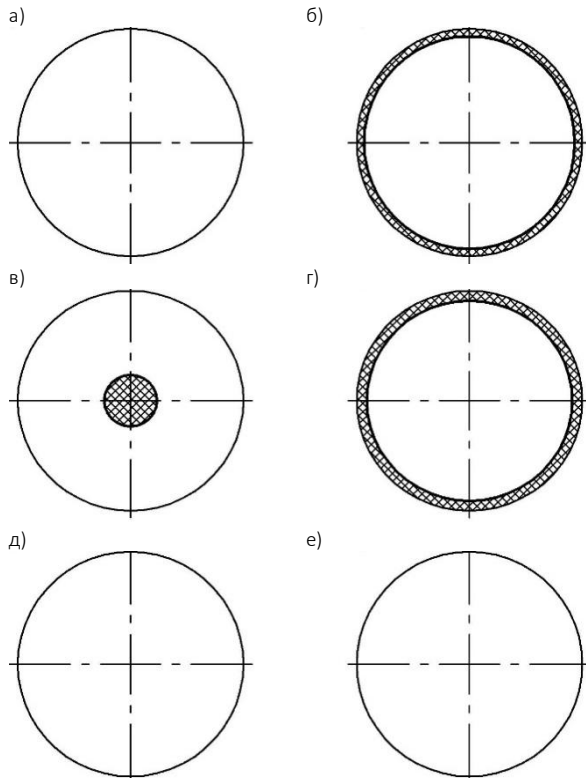


Рис. 5. Контур зон пластичности на нижней (а, в, д) и на верхней (б, г, е) плоскостях пластины при $q=80$ кПа по вариантам: а, б – Тр; в, г – Л; д, е – ГМГ

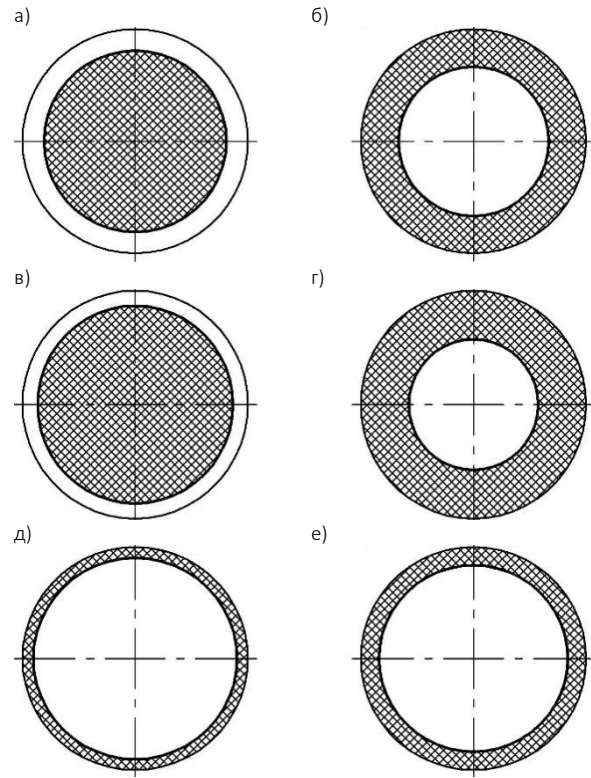


Рис. 7. Контур зон пластичности на нижней (а, в, д) и на верхней (б, г, е) плоскостях пластины при $q=195$ кПа по вариантам: а, б – Тр; в, г – Л; д, е – ГМГ

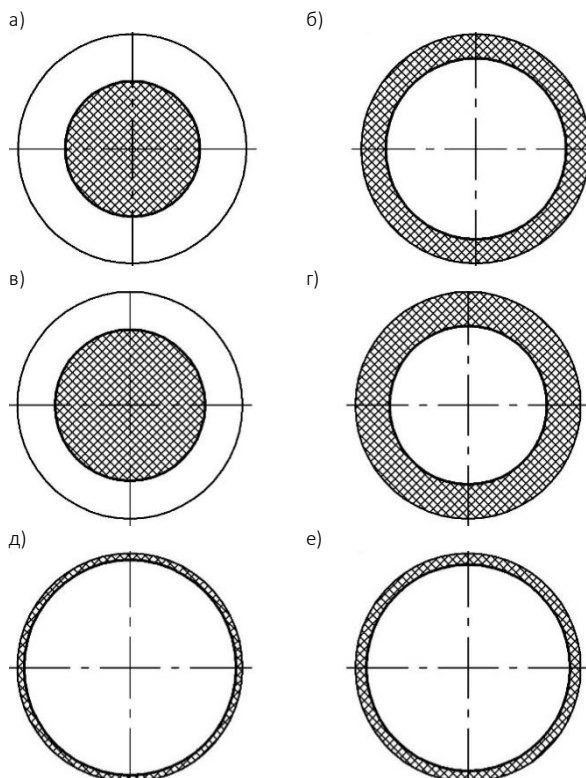


Рис. 6. Контур зон пластичности на нижней (а, в, д) и на верхней (б, г, е) плоскостях пластины при $q=130$ кПа по вариантам: а, б – Тр; в, г – Л; д, е – ГМГ

нагрузка в 80 кПа создает различие в качественных картинах конфигураций распространения пластических деформаций нижней плоскости пластины, но приводит к подобным областям на верхней. Вариант расчета «ГМГ» демонстрирует отсутствие пластических деформаций при этом уровне нагрузки. Рост интенсивности нагрузки приводит к сближению качественных картин развития областей, вступивших в пластичность на нижней и верхней плоскостях вариантов «Тр» и «Л», но при различии размеров этих зон. При этом оба варианта решений по распространению зон пластичности кардинально отличаются от «ГМГ», что объясняется пренебрежением в последнем варианте зависимостью пределов текучести от вида напряженного состояния.

Рис. 8 демонстрирует возникновение и развитие пластических деформаций по толщине пластины.

Границы зон развития пластических деформаций для вариантов расчета пластин «Тр» и «Л» схожи, но имеют небольшие количественные отклонения до 5%, а при расчете согласно классическому варианту «ГМГ» качественная картина представления этих областей существенно отличается от двух последних, так как пластические зоны вблизи опорного контура близки к симметричным по отношению к срединной плоскости.

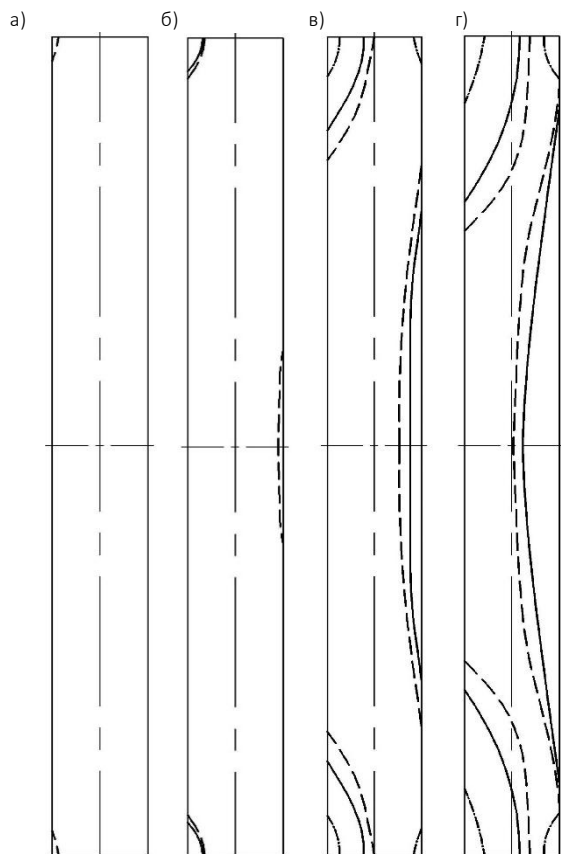


Рис. 8. Границы зон развития пластических деформаций по толщине пластины: а – при $q=62$ кПа; б – при $q=80$ кПа; в – при $q=130$ кПа; г – при $q=195$ кПа

На рис. 9 показаны тенденции роста максимального относительного прогиба центра пластины по мере увеличения безразмерной интенсивности нагрузки.

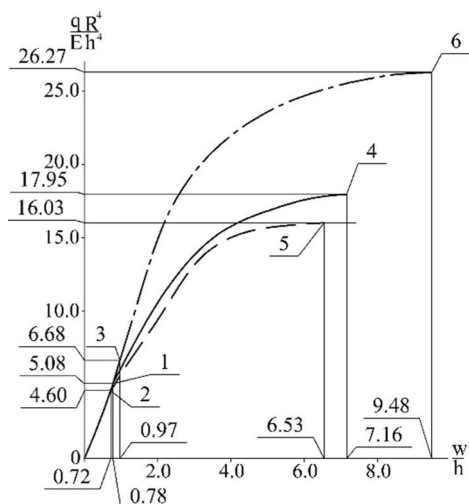


Рис. 9. Зависимость максимальных прогибов пластины от интенсивности нагрузки: 1 – начало возникновения пластических деформаций варианта «Тр»; 2 – начало возникновения пластических деформаций варианта «Л»; 3 – начало возникновения пластических деформаций варианта «ГМГ»; 4 – образование сквозной пластичности для варианта «Тр»; 5 – образование сквозной пластичности для варианта «Л»; 6 – образование сквозной пластичности для варианта «ГМГ»

Анализ рис. 9 показывает, что в процессе упругопластического деформирования зависимости, полученные благодаря вариантам расчетов «Тр» и «Л» отличаются не более чем на 10%. Однако с ростом нагрузки эти различия увеличиваются и перед появлением сквозной пластичности на всю толщину пластины разница между значениями максимальных прогибов, полученных согласно вариантам «Тр» и «Л» при одной и той же интенсивности нагрузки может достигать 48%. Разница в величинах максимальных прогибов, полученных при одинаковых нагрузках согласно варианту «Тр» по сравнению с решением «ГМГ» при развитых пластических деформациях может достигать 157%, а между вариантом «Л» и «ГМГ» – до 200%.

Картини распределения областей пластических деформаций по поверхностям и по толщине пластины, выполненной из полиметилметакрилата практически схожи с аналогичными, рассчитанными для графитовой конструкции, отличаясь только размерами. Поэтому здесь не приводятся. Представим лишь в табл. 2 интенсивности нагрузок, при которых начинают развиваться пластические деформации и возникает сквозная пластичность, а на рис. 10 – зависимости максимальных прогибов по мере роста интенсивности нагрузки.

Таблица 2

Вариант расчета	Нагрузка при появлении пластических деформаций, МПа		Нагрузка при образовании сквозной пластичности (пластические шарниры), МПа
	в верхней зоне	в нижней зоне	
Тр	1,03(21)	1,56(1)	2,50
Л	0,99(21)	1,33(1)	2,87
ГМГ	1,12(21)	1,53(21)	3,81

Сведения из табл. 2 свидетельствуют о том, что интенсивность нагрузки, вызывающая появление пластических деформаций на нижней плоскости и соответствующая модели «Тр» слабо отличается от показателей варианта «ГМГ» всего лишь на 2,0%, в то время как аналогичная нагрузка, рассчитанная на основании «Л» ниже на 15%. Варианты решений «Тр» и «Л» по величинам указанных нагрузок различаются на 17,3%, а качественные картины развития пластических деформаций на нижней плоскости для этих вариантов идентичны (течение развивается в точке 1, см. рис. 3). При этом пластичность при расчете по классической модели «ГМГ» впервые возникает на контуре (точка 21).

Нагрузка, вызывающая пластичность на верхней плоскости по расчетам «Тр» не совпадает с данными «ГМГ» на 8,7%, а по «Л» – на 13,1%, в то время как между собой указанные нагрузки варианта «Тр» и «Л» слабо различаются (на 4,0%). При этом характер появления пластичности на верхней плоскости для всех вариантах расчета подобен (текучесть изна-



чально возникает в точках заземленного контура пластины).

Интенсивность предельной нагрузки по расчетам согласно модели «Тр», вызывающая сквозную пластичность ниже данных, которые представляет вариант «ГМГ» на 52,4% в то время, как вариант «Л» ближе к последнему с разницей в 32,8%. Различие в величинах указанных нагрузок между вариантами «Тр» и «Л» составляет 14,8% (нагрузка по «Л» выше, чем по «Тр»).

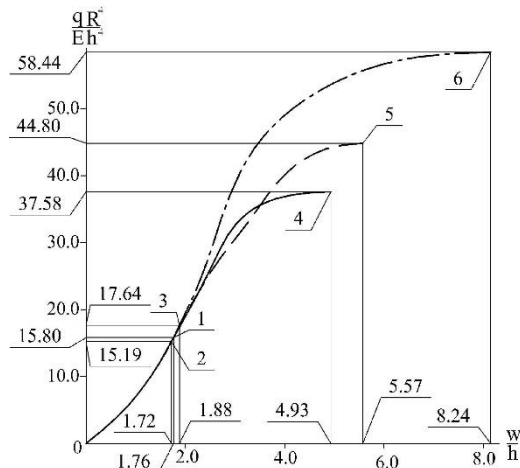


Рис. 10. Зависимость максимальных прогибов пластины от интенсивности нагрузки: 1 – начало возникновения пластических деформаций варианта «Тр»; 2 – начало возникновения пластических деформаций варианта «Л»; 3 – начало возникновения пластических деформаций варианта «ГМГ»; 4 – образование сквозной пластичности для варианта «Тр»; 5 – образование сквозной пластичности для варианта «Л»; 6 – образование сквозной пластичности для варианта «ГМГ»

Различные условия пластичности слабо влияют на величины и характер распределения изгибающих моментов и мембранных усилий для рассмотренных пластин, изготовленных как из графита МПГ-6, так и полиметилметакрилата мало ощутимы и здесь не приводятся.

Библиографический список

1. Гольденблат, И.И. Критерии прочности конструктивных материалов / И.И. Гольденблат, В.А. Копнов. – М.: Машиностроение, 1968. – 192 с.
2. Баландин, П.П. К вопросу о гипотезах прочности / П.П. Баландин // Вестник инженеров и техников. – 1937. – № 1. – С. 37–41.
3. Миролубов, И.Н. К вопросу об обобщении теории прочности октаэдрических касательных напряжений на хрупкие материалы / И.Н. Миролубов // Труды ЛТИ. – 1953. – Вып. 25. – С. 42–52.
4. Ягн, Ю.И. Прочность и пластичность модифицированного чугуна при различных напряженных состояниях / Ю.И. Ягн, В.В. Евстратов // Докл. АН СССР. – 1957. – Т. 113. – №3. – С. 573–575.
5. Лукша, Л.К. К теории прочности / Л.К. Лукша // Докл. АН БССР. – 1963. – Т. 7. – №5. – С. 301–304.

6. Писаренко, Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
7. Гениев, Г.А. К вопросу обобщения теории прочности бетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк // Бетон и железобетон. – 1965. – № 2. – С. 16–19.
8. Толоконников, Л.А. О форме предельной поверхности изотропного тела / Л.А. Толоконников // Прикладная механика. – 1969. – Вып. 10. – Том 5. – С. 123–126.
9. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
10. Green, R.J. A plasticity theory for porous solid / R.J. Green // Int. J. Mech. Sci. – Vol.14. – 1972. – P. 215–227.
11. Алиев, М.М. Новый подход к разработке полиномиальных критериев прочности для изотропных полимеров и горных пород / М.М. Алиев, Н.Г. Каримова, С.В. Шафиева // Известия вузов «Нефть и газ». – 2009. – № 3. – С. 77–82.
12. Цыбулько, А.Е. Критерий прочности изотропных материалов / А.Е. Цыбулько, Е.А. Романенко // Вестник машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 34–36.
13. Айнбиндер, С.Б. Влияние гидростатического давления на механические свойства полимерных материалов / С.Б. Айнбиндер, М.Г. Лака, И.Ю. Майорс // Механика полимеров. 1965. № 1. – С. 65–75.
14. Сопротивление деформированию и разрушению изотропных графитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.В. Березин [и др.] // Проблемы прочности. 1979. № 2. – С. 60–65.
15. Ломакин, Е.В. Зависимость предельного состояния композитных и полимерных материалов от вида напряженного состояния / Е.В. Ломакин // Механика композитных материалов. – 1988. – № 1. – С. 3–9.
16. Фридман, А.М. Исследование разрушения углеграфитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.М. Фридман, Ю.П. Ануфриев, В.Н. Барabanов // Проблемы прочности. – 1973. – №1. – С. 52–55.
17. Жуков, А.М. Прочностные свойства полиметилметакрилата при двухосном растяжении / А.М. Жуков // Инж. сб. – 1960. – Т. 1. – Вып. 2. – С. 200–204.
18. Гольдман, А.Я. Прочность конструктивных пластмасс / А.Я. Гольдман. – Л.: Машиностроение, 1979. – 320 с.
19. Айнбиндер, С.Б. Свойства полимеров при высоких давлениях / С.Б. Айнбиндер, К.И. Алксне, Э.Л. Тюпина, М.Г. Лака. – М., 1973.
20. Ломакин, Е.В. Соотношения теории упругости для изотропного разномодульного тела / Е.В. Ломакин, Ю.Н. Работнов // Изв. АН СССР. МТТ. – 1978. – №6. – С. 29–34.
21. Панферов, В.М. Теория упругости и деформационная теория пластичности для тел с различными свойствами на сжатие, растяжение и кручение / В.М. Панферов // Докл. АН СССР. – 1968. – Т. 180. – №1. – С. 41–44.
22. Круглов, В.М. Зависимости между напряжениями и деформациями в нелинейно деформируемом теле. Часть 1. Основные принципы и соотношения механики деформируемого твердого тела / В.М. Круглов, С.В. Бакушев, А.И. Шеин, В.Т. Ерофеев, С.Д.С. Аль Дулайми, А.А.Томилов // Эксперт: теория и практика. – 2023. – №4(23). – С. 154–163.



23. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. – 326 с.
24. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещев. – Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.
25. Трещев, А.А. Зависимость предельных состояний конструкционных материалов от вида напряженного состояния / А.А. Трещев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1999. – №10. – С. 9–18.
26. Трещев, А.А. К теории пластичности дилатирующих разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещев // Проблемы машиностроения и автоматизации. – Международный журнал. – 2003. – №2. – С. 58–62.
27. Божанов, П.В. Определение прочностных критериев при возникновении пластических деформаций в поликарбонате / П.В. Божанов, А.А. Трещев // Инновации и инвестиции. – 2018. – №12. – С. 323-326.
28. Трещев, А.А. К теории пластичности материалов, чувствительных к наводороживанию / А.А. Трещев, П.А. Полтавец // Проблемы машиностроения и автоматизации. Международный журнал. № 2. – 2006. – С. 60-67.
29. Трещев, А.А. Влияние наводороживания на пластические свойства материалов / А.А. Трещев, П.В. Божанов, П.А. Полтавец // Упругость и неупругость. – М.: Лепант, МГУ. – 2006. – С. 237-241.
30. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский–Кригер. – М.: Физматгиз, 1966. – 636 с.
31. Петров, В.В. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала / В.В. Петров, И.В. Кривошеин. – М.: АСВ, 2009. – 208 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.

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 одноплатных 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);
- 5.1. – Право (социальные и гуманитарные 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

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 2025 году - это статьи 2021-2025 годов).

Технические параметры:

Названия файла:

- Фамилия город (например: **Иваненко Самара**)

Общий объем: 5-9 страниц печатанного текста формата А-4 (до списка литературы).

Стандарты: шрифт Times New Roman, **кегель – 14**, междустрочечный **интервал – 1,5**, абзацный отступ – **1 см** (это сделано для того, чтобы автор точно знал сколько страниц текста у него будет в журнале), все поля – **2 см**, литература – **В ПОРЯДКЕ ПОЯВЛЕНИЯ В ТЕКСТЕ** (желательно не менее 15 наименований, из них 5 (рекомендуется) – за последние 1-5 лет), редактор Word, тип файла – документ **Word 97-2003** (обязательно).

Ключевые слова (не менее 8 слов) и **аннотация** (не менее 150-200 слов) на русском и английском.

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

Формулы необходимо набирать в файле формата **Microsoft Word 2010** (используя опции "Вставка -> Формула"), а потом сохранять в **Word 97-2003**, в таком случае формулы становятся как картинки), размер символа - **10** (обязательно), длина формул не должна превышать **80 мм** (обязательно), латинские символы набираются курсивом, греческие – прямым шрифтом, **КИРИЛЛИЦА НЕ ДОПУСКАЕТСЯ**.

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы.

Сканированные рисунки исполнять с отдельной возможностью не менее 300 dpi.

Справочная информация:

1. Для определения УДК можно использовать следующие ссылки:

А) <http://teacode.com/online/udc/>

Б) <http://www.naukapro.ru/metod.htm>

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна **в системе АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее 75%, *в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов*):

А) <https://www.antiplagiat.ru/> (результаты хранятся у автора и высылаются по запросу редколлегии)

Статьи в обязательном порядке размещаются в системе РИНЦ – российского индекса научного цитирования (elibrary, ссылка: <http://elibrary.ru/titles.asp>), НЭБ КиберЛенинка (ссылка: <https://cyberleninka.ru>) и на сайте журнала.

Сетевое научно-практическое издание

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 1 (28) 2025 г.

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

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 1 (28) 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> 05.03.2025.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 24,18.
Электронные текстовые данные (15,07 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.

