

ISSN: 2686-7818

# **ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

---

**2022, №1 (16)** НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Expert:  
theory and practice*

**12+**

**АНО «ИССТЭ»**  
Тольятти/Tolyatti





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

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

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

Журнал включён в **перечень ВАК** Минобрнауки РФ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по научным специальностям:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки) – с 27.01.2021 г.;
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки) – с 27.01.2021 г.;
- 2.1.9. – Строительная механика (технические науки) – с 15.11.2021 г.

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

**Редакционный совет:**

*Петров Владилен Васильевич* – председатель редакционного совета, Заслуженный деятель науки РФ, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина  
*Акимов Павел Алексеевич* – академик РААСН, профессор, доктор технических наук, Главный ученый секретарь Российской академии архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

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

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

*Беккер Александр Тевьевич* - Заслуженный работник высшего образования РФ, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, научный руководитель Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

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

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

*Гаджиев Мухлис Ахмед оглы* - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Азербайджан, Баку

*Гельфонд Анна Лазаревна* – академик РААСН, Заслуженный работник культуры РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор архитектуры, профессор, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия)

*Ерофеев Владимир Трофимович* - академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

*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)

*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

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

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

*Селяев Владимир Павлович* - Заслуженный деятель науки РФ, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

*Сорочайкин Андрей Никонович* – заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, АНО «ИССТЭ», Тольятти

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

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

*Юрасов Алексей Владимирович* - доктор экономических наук, профессор, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, Литва

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

**Founder**  
Independent Noncommercial Organization  
"Institution of Forensic Construction and Technological Expertise"  
INO "IFCTE"

Published since 2019. Published 6 times a year.

**Prefix DOI: 10.51608/26867818**

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

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

- 2.1.1. – Building structures, buildings and facilities (technical sciences) - since 27.01.2021;
- 2.1.5. – Building materials and articles (technical sciences) - since 27.01.2021;
- 2.1.9. – Structural mechanics (technical sciences) - since 15.11.2021.

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

**Editorial Board:**

*Vladilen V. Petrov* - Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Saratov, Russia)

*Pavel A. Akimov* – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Chief Scientific Secretary of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

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

*Lilia T. Bakulina* - Doctor of Law, Associate Professor, Dean of the Faculty of Law, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russia)

*Alexander T. Bekker* - Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Corresponding Member of the RAABS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Director of the School of Engineering, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russia)

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

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

*Mukhlis Ahmed oglu Hajiyev* – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department “Building Structures”, Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

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

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

*Bayzak R. Isakulov* – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Design and Construction, Baishev University (Aktobe, Kazakhstan)  
*Semyon S. Kapriellov* - Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

*Nikolai V. Lascencov* - laureate Of the state prize of the Council of Ministers of the USSR, Honorary citizen of Togliatti, full member of the Russian Academy of natural Sciences, corresponding member of the International engineering Academy, doctor of technical Sciences, Professor, expert, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

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

*Vladimir I. Rimshin* - Honored Builder of the Russian Federation, Corresponding Member of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Institute of City Development of the University of Ministry (Moscow, Russia)

*Vladimir P. Selyaev* - Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAABS, 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; INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

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

*Alexander A. Treschev* - Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Tula State University (Tula, Russia)

*Aleksei V. Iurasov* - Prof., PhD, Verslo technologijų ir verslininkystės katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Vilnius, Lithuania)

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

#### **Редакционная коллегия:**

*Мурашкин Василий Геннадьевич* – главный редактор, кандидат технических наук, доцент, АНО "ИССТЭ", Тольятти  
*Анпилов Сергей Михайлович* - заместитель главного редактора, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт АНО "ИССТЭ", Тольятти  
*Сорочайкин Андрей Никонович* - заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, директор АНО "ИССТЭ", Тольятти

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

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

*Гарибов Рафаил Баширович* - доктор технических наук, профессор, советник РААСН, АНО "ИССТЭ", Тольятти

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

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

*Гогин Александр Александрович* - доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры "Гражданское право и процесс", Тольяттинский государственный университет

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

*Ерышев Валерий Алексеевич* - доктор технических наук, советник РААСН, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство", Тольяттинский государственный университет

*Ефимцева Татьяна Владимировна* – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой предпринимательского и природоресурсного права, Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина, Оренбургский филиал, Оренбург

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

*Кванина Валентина Вячеславовна* - доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой «Предпринимательское, конкурентное и экологическое право», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

*Коробко Андрей Викторович* - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Теоретической механики", Орловский государственный университет им. Тургенева

*Коробко Виктор Иванович* - доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева

*Котлов Виталий Геннадьевич* – кандидат технических наук, профессор, советник РААСН, директор института строительства и архитектуры, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

*Куприянов Валерий Николаевич* - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

*Медведев Валентин Григорьевич* - доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры Теории и истории государства и права, Тольяттинский государственный университет

*Милушева Татьяна Владимировна* - доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой гражданского права и процесса, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Поволжский институт управления им. П.А. Столыпина (Саратов, Россия)  
*Мирсаяпов Ильзар Талгатович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

*Мирсаяпов Илшат Талгатович* - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

*Михайлов Андрей Валерьевич* - кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой Предпринимательского и энергетического права, Казанский (Приволжский) федеральный университет

*Моисеев Александр Михайлович* - доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой Криминалистики, Донбасская юридическая академия (ДНР, Донецк)

*Низина Татьяна Анатольевна* - доктор технических наук, профессор, советник РААСН, профессор кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

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

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

*Салимова Татьяна Анатольевна* - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саратов

*Серова Ольга Александровна* – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет

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

*Соколов Борис Сергеевич* - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат госпремии РФ, научный консультант АО "Казанский Гипрониавиапром"

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

*Сушкова Юлия Николаевна* – доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой международного и европейского права, декан юридического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саратов

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

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

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

### Editorial Staff:

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

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

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

*Svetlana V. Vavrenyuk* - Corresponding Member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, CIRD of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Alexander N. Potapov* - Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., South Ural State University (Chelyabinsk, Russia)

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

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

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

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

*Boris S. Sokolov* - Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof. (Kazan, Russia)

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

---

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

**Ерышев В.А., Жемчуев А.О.**

Численное моделирование интегральных параметров криволинейных диаграмм деформирования бетона..... 9

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

**Пчельников А.В., Пичугин А.П., Луцки Р.В., Ткаченко С.Е.**

Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий..... 14

**Селяев В.П., Селяев П.В., Хамза Е.Е.**

Основы теории деградации и прогнозирования долговечности железобетонных конструкций с учетом фрактального строения структуры материала..... 23

## МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Низина Т.А., Низин Д.Р., Канаева Н.С., Климентьева Д.А., Порватова А.А.**

Влияние влажностного состояния на кинетику накопления повреждений в структуре образцов эпоксидных полимеров под действием растягивающих напряжений..... 37

**Селяев В.П., Грязнов С.Ю., Безрукова Е.С., Бабушкина Д.Р.**

Влияние вида функциональной зависимости « $\sigma - \epsilon$ » на расчетные прогибы балки из нелинейно деформируемого материала..... 46

## ПРАВО

**Анпилов С.М.**

О проблемах правового регулирования в строительной отрасли и пути их решения..... 55

## ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

**Воробьев П.В., Керженцев О.Б.**

Актуальные вопросы строительной отрасли в Российской Федерации на современном этапе..... 62

**Герасименко П.В.**

Методика оценивание риска недостижения плановых показателей строительства жилья в условиях развития пандемии..... 66

**Кучеренко В.А., Курбатов В.Л., Римшин В.И.**

Определение причин образования трещин в несущих и ограждающих конструкциях бассейна в здании..... 75

**Подольский М.С.**

ГИП – бесценный актив проектной организации. Рецепты успеха ..... 82

# CONTENT

---

## **CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND FACILITIES**

**Eryshev V.A., Zhemchuev A.O.**

Numerical simulation of the integral parameters of curvilinear diagrams of concrete deformation ..... 9

## **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**

**Pchel'nikov A.V., Pichugin A.P., Lutsik R.V., Tkachenko S.E.**

Dielkometric analysis of operational characteristics and aging process of protective coatings..... 14

**Selyaev V.P., Selyaev P.V., Khamza Y.Y.**

Foundations of the theory of degradation and prediction of the durability of reinforced concrete structures, taking into account the fractal structure of the structure ..... 23

## **MECHANICS OF DEFORMABLE SOLID BODY**

**Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S., Klimentyeva D.A., Porvatova A.A.**

Influence of the humidity state on the kinetics of damage accumulation in the structure of epoxy polymer samples under the action of tensile stresses ..... 37

**Selyaev V.P., Gryaznov S.Yu., Bezrukova E.S., Babushkina D.R.**

Influence of the type of functional dependence " $\sigma - \epsilon$ " on the designed bending of a beam from nonlinear deformable material ..... 46

## **RIGHT**

**Anpilov S.M.**

Challenges of the legal regulation of the construction industry and ways to address them ..... 55

## **EXPERT EVALUATIONS**

**Vorobyev P.V., Kerzhentsev O.B.**

Current issues of the construction industry in the Russian Federation ..... 62

**Gerasimenko P.V.**

Methodology for assessing the risk of not achieving the targets for housing in the context of the pandemic..... 66

**Kucherenko V.A., Kurbatov V.L., Rimshin V.I.**

Determining the causes of cracking in the supporting and securing constructions of the pool in the building ..... 75

**Podolskiy M.S.**

Chief project engineer - priceless asset of the project organization. Recipes for success ..... 82

Научная статья

УДК 624.01

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_9

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Валерий Алексеевич Ерышев<sup>1</sup>, Артур Олегович Жемчуев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

<sup>1</sup> gsx@tltsu.ru

<sup>2</sup> tyrist1990@list.ru

**Аннотация.** В данной статье проведен анализ количества разбиений диаграммы на элементарные участки и его влияния на вычисление площади диаграммы с целью дальнейшего нормирования площадей или коэффициента полноты эпюры в нормативных документах для выполнения расчетов железобетонных конструкций по нелинейной деформационной модели.

**Ключевые слова:** криволинейная диаграмма, площадь диаграммы, интегральные параметры, коэффициент полноты эпюры

**Для цитирования:** Ерышев В.А., Жемчуев А.О. Численное моделирование интегральных параметров криволинейных диаграмм деформирования бетона // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 9-13. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_9.

Методы расчета железобетонных конструкций, основанные на диаграммах деформирования бетона и арматуры (по деформационной модели) в последние годы получили статус приоритетного по сравнению с расчетами по методу предельных усилий, изложенных в отечественных нормах [1]. В отечественных нормах нормируются упрощенные диаграммы деформирования бетона и арматуры (двух-, трехлинейные) а также их деформации, однако выполнение расчетов с использованием упрощенных диаграмм дают результаты не совсем точные, так как не в полной мере отражают реальное деформирование бетона, что в дальнейшем сказывается на результатах расчетов. Криволинейные диаграммы наиболее полно приближены по очертанию к реальному деформированию под нагрузкой, что при кратковременном нагружении наиболее точно характеризует нелинейное де-

формирование бетона и состоят из восходящей и нисходящей ветви. По исследованиям Карпенко Н.И. [2-4], исходной диаграммой может являться диаграмма сжатия при одноосном нагружении призм, в которой нелинейные свойства бетона в связях  $\sigma_b - \varepsilon_b$  «деформации – напряжения» устанавливаются посредством секущего модуля  $E_b \nu_b$ , и за счет чего достигается возможность описывать закономерность деформирования бетона при сжатии и растяжении на обеих ветвях диаграммы.

Исходя из работ [5-6] ветви диаграмм описываются нелинейными уравнениями, где по оси деформаций откладываются отдельные малые участки  $\Delta \varepsilon_{b,i}$  ( $i$  номера участков). Относительным деформациям в диаграммах  $\Delta \varepsilon_{b,i}$  в сжатой зоне элемента соответствует высота элементарного участка сечения  $\Delta h_{b,i} = \Delta \varepsilon_{b,i} / \chi$ , с вели-



чиной напряжения  $\sigma_{b,i}$ . Площадь  $i$  участка диаграммы определяется по формуле:  $A_{b,i} = \Delta \varepsilon_{b,i} \sigma_{b,i}$  (рисунок 1).

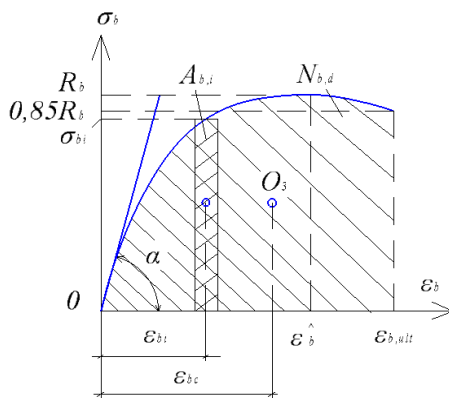


Рисунок 1. Криволинейная диаграмма деформирования бетона на сжатие

Ключевыми параметрами диаграмм, используемыми в расчетах прочности железобетонных элементов, являются

$$N_{b,d} = \sum_{i=1}^n A_{b,i} = \sum_{i=1}^n \sigma_{b,i} \Delta \varepsilon_{b,i}$$

представляет собой работу, затраченную на деформацию образца при нагрузке до их предельных значений, численно равную сумме площадей элементарных участков в области, ограниченной ветвями диаграмм бетона на

$$S_{b,d} = \sum_{i=1}^n A_{b,i} \varepsilon_{b,i} = \sum_{i=1}^n \sigma_{b,i} \Delta \varepsilon_{b,i} \varepsilon_{b,i}$$

момента, численно равный сумме произведений площадей элементарных площадок в диаграммах бетона на расстояния их центров тяжести до оси напряжений  $\sigma_b$  и значение  $\varepsilon_{b,c} = S_{b,d} / N_{b,d}$  - расстояние от оси напряжений  $\sigma_b$  (рисунок 1) диаграмм бетона до его центра тяжести  $O_3$ .

При описании полных диаграмм по существующим зависимостям из отечественных нормативных документов [1], значения деформаций и напряжений в вершине диаграммы (абсцисса диаграммы) и на спадающей ветви дают не совсем точные значения, которые, в последствии, влияют на результаты расчетов. На основании этого

в исследованиях Ерышева В.А. [7] были уточнены зависимости деформаций и напряжений в вершине диаграммы и на спадающей ветви. При построении диаграмм по уточненным зависимостям значения деформаций и напряжений и само очертание диаграмм получаются значительно уравновешенными, что в свою очередь в дальнейшем влияет на результаты расчетов.

При описании полной диаграммы по отечественным нормам, связь «напряжений и деформаций» при однократном статическом нагружении бетона при сжатии в редакции [1, 8] приведена в формуле (1).

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b} \quad (1)$$

где  $\nu_b$  - коэффициент изменения секущего модуля, данные которого рассчитываются либо через относительный уровень напряжений  $\eta_H = \sigma_b / R_b$ , или через относительный уровень деформаций  $\eta_d = \varepsilon_b / \varepsilon_b^*$ .

Значение деформаций (абсцисса) в вершине диаграммы  $\varepsilon_b^*$ , в отличие от [1, 8], закладываются не по таблицам норм, а вычисляются по формуле, в которой закладывается класс и вид бетона. Нисходящая ветвь диаграммы ограничивается относительным уровнем напряжения  $\eta_H = 0,85$  и  $\eta_H = 1$  для высокопрочных бетонов, однако при этом значения максимальных деформаций  $\varepsilon_{bu}$  при классах бетона могут отличаться от их нормированных величин. Различие значений деформаций от их нормативных величин влияет на результат определения усилий в предельном состоянии. Для тяжелого бетона вводится связь вычисления деформаций в базовых точках  $\varepsilon_b^*$  и  $\varepsilon_{bu}$ , аппроксимирующих их нормативные значения, в соответствии с формулами (2).

$$\varepsilon_b^* = 1,75 \left( \frac{B}{10 \text{ МПа}} \right)^{0,2} / 1000;$$

$$\varepsilon_{bu} = \varepsilon_b^* \left( 1 - \frac{B - B^*}{98 \text{ МПа}} \left( \frac{10 \text{ МПа}}{B} \right)^{0,2} \right) \quad (2)$$



где  $B$  – класс бетона при сжатии;  $B^*$  – класс бетона B105.

На примере диаграммы бетона класса B15 было проанализировано, что количество разбиений диаграммы на малые участки влияет на площадь диаграммы  $Nb,d$  и как следствие в дальнейшем на результаты расчетов, при наступлении стабилизации значений коэффициента полноты эпюры  $\omega d$ , определяемого как отношение площади диаграммы к площади прямоугольника, описанного через крайевые точки диаграммы можно принимать за эталонное значение  $\omega d,э$  (рисунок 2а).

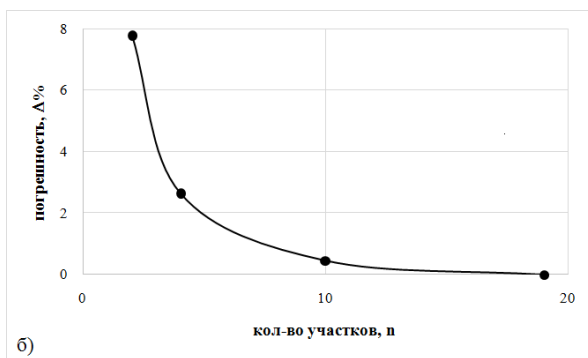
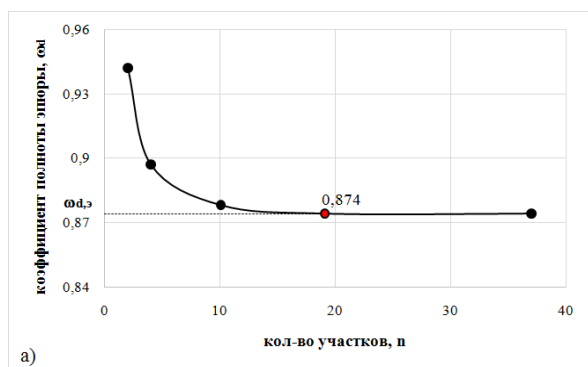


Рисунок 2. а) график «коэффициент полноты эпюры  $\omega d$  - количество элементарных участков  $n$ », б) график «погрешность  $\Delta\%$  - количество элементарных участков  $n$ »

Из рисунка 2а видно, что стабилизация коэффициента полноты эпюры  $\omega d$  (отношение площади диаграммы к площади прямоугольника) начинается при разбиении диаграммы на 19 элементарных участков и более, и следовательно, данный коэффициент можно брать за эталонное значение  $\omega d,э$ , данному значению коэффициента

полноты эпюры  $\omega d,э$  равному 0,874, будет соответствовать площадь диаграммы  $Nb,d$  равная 26,04 МПа%. Далее определяем погрешность между коэффициентами полноты эпюры  $\omega d$ , и коэффициентом, принятым за эталонное значение  $\omega d,э$  (рисунок 2б).

Количество разбиений на элементарные участки также влияет на положение центра тяжести диаграммы  $эb,c$ , из (рисунка 3а) видно, что стабилизация значения центра тяжести наступает при разбиении диаграммы на 19 участков и более, что также принимаем за эталонное значение  $эb,c,э$  равное 0,00188 (1,88%).

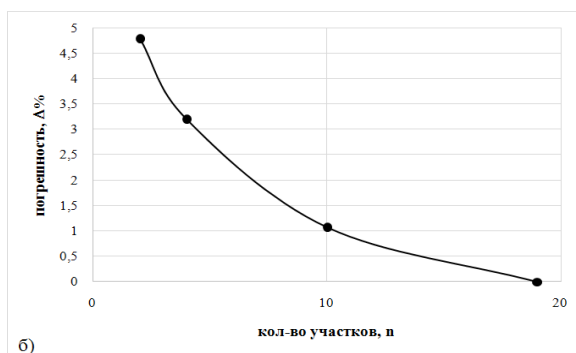
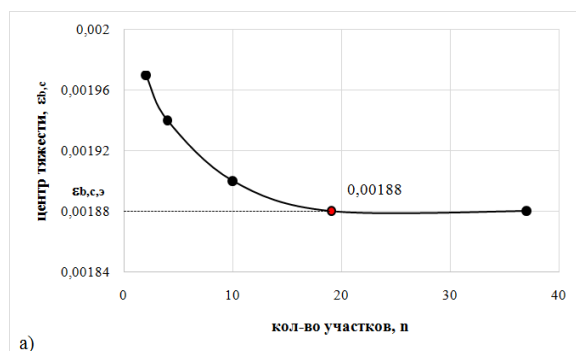


Рисунок 3. а) график «центр тяжести  $эb,c$  - количество элементарных участков  $n$ », б) график «погрешность  $\Delta\%$  - количество элементарных участков  $n$ »

Далее также вычисляем погрешность значений центров тяжести  $эb,c$  к эталонному значению центра тяжести  $эb,c,э$  (рисунок 3б).

Для остальных классов бетона изменение коэффициента  $\omega d,э$  отражено на (рисунке 4).

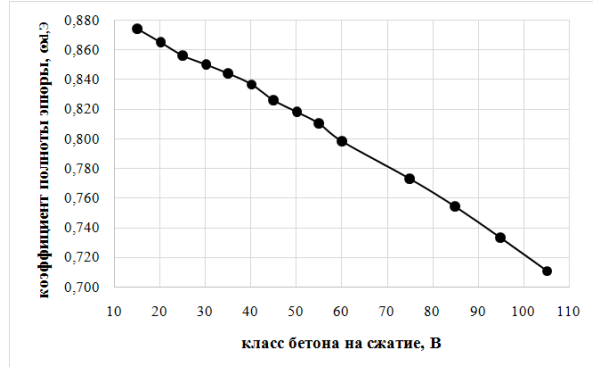


Рисунок 4. график «коэффициент полноты эпюры  $\omega_{d,э}$  – класс бетона на сжатие, В»

**Выводы:** исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что в дальнейшем в нормативных документах следует нормировать не значение деформаций, а значения площадей диаграмм  $Nb, d$  или их коэффициентов полноты эпюры  $\omega_{d,э}$ , что в свою очередь при выполнении расчетов стержневых железобетонных элементов позволит избежать проведение итерационного процесса и соответственно упростит саму процедуру расчета.

#### Список источников

1. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2013. 155 с.
2. Карпенко, Н.И. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с примене-

нием нелинейной деформационной модели / Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин // Известия КГАСУ. 2013 № 4 (26). С. 113-120.

3. Карпенко, Н.И. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах / Н.И. Карпенко, О.В. Радайкин // Строительство и реконструкция. 2010. №3 (41). С. 10-16.

4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. 416 с.

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

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

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

8. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования. – М., 2017. 197 с.

#### Информация об авторах

В.А. Ерышев - доктор технических наук, советник РААСН, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство" Тольяттинского государственного университета;  
А.О. Жемчуев – аспирант Тольяттинского государственного университета.

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

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.



Original article

## NUMERICAL SIMULATION OF THE INTEGRAL PARAMETERS OF CURVILINEAR DIAGRAMS OF CONCRETE DEFORMATION

Valery Alekseevich Eryshev<sup>1</sup>, Artur Olegovich Zhemchuev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Togliatti State University, Togliatti, Russia

<sup>1</sup> gsx@tltsu.ru

<sup>2</sup> tyrist1990@list.ru

**Annotation.** This article analyzes the number of diagram divisions into elementary sections and its influence on the calculation of the diagram area to further normalize the areas or the completeness factor of the diagram in regulatory documents for performing calculations of reinforced concrete structures using a nonlinear deformation model.

**Keywords:** curvilinear diagram, diagram area, integral parameters, diagram completeness factor

**For citation:** Eryshev V.A., Zhemchuev A.O. Numerical simulation of the integral parameters of curvilinear diagrams of concrete deformation // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 9-13. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_9.

### **Information about the authors**

V.A. Eryshev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University;

A.O. Zhemchuev – Postgraduate student, Togliatti State University.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.

Научная статья

УДК 691.52

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_14

## ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Александр Владимирович Пчельников<sup>1</sup>, Анатолий Петрович Пичугин<sup>2</sup>,  
Роман Вячеславович Луцик<sup>3</sup>, Сергей Евгеньевич Ткаченко<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> gmunsau@mail.ru

**Аннотация.** Проведены исследования состояния лакокрасочных композиций с различными наноразмерными добавками, твердеющих в различные сроки службы. Установлено, что нанодобавки существенно влияют на большинство свойств защитных покрытий, включая адгезию, прочность, твердость, водостойкость и коррозионную стойкость. Отмечена хорошая сопротивляемость защитных покрытий с нанодобавками эксплуатационным воздействиям. Изучена взаимосвязь диэлектрических характеристик с эксплуатационными свойствами для акриловых лакокрасочных составов, эксплуатируемых в реальных условиях. Получены результаты, подтверждающие зависимость свойств материала от его диэлектрических параметров, таких, тангенс угла диэлектрических потерь и добротность, коррелирующие с изменением физико-механических параметров защиты.

**Ключевые слова:** лакокрасочные материалы, наноразмерные добавки, диэлектрические характеристики; тангенс угла диэлектрических потерь, измеритель добротности, добротность

**Для цитирования:** Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А.В. Пчельников, А.П. Пичугин, Р.В. Луцик, С.Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 14-22. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_14.

### Введение

Известно, что по электрическим свойствам все вещества и материалы разделяют на проводники, полупроводники и диэлектрики. Электропроводность - способность вещества или среды проводить электрический ток и накапливать в себе энергию или заряд-статическое электричество. Чем выше электропроводность, тем вещество является более антистатичным. В противном случае среда становится электроизоляционной. Диэлектрическая проницаемость характеризует изоляционные свойства объекта; чем выше диэлектрическая проницаемость, тем объект более

проводимый, чем ниже, тем более теплоизоляционный [1-4].

Ещё одной характеристикой, подтверждающей способность объекта накапливать энергию, является тангенс угла диэлектрических потерь. По данной величине можно судить об антистатичности вещества при малых значениях, и, наоборот, при увеличении тангенса угла диэлектрических потерь. В свою очередь тангенс угла диэлектрических потерь не зависит от диэлектрической проницаемости.

Диэлькометрия – один из неселективных количественных методов анализа, основанный на измерении электрохимиче-



ских параметров вещества по диэлектрической проницаемости и производной от неё - добротности. В проводниках электрические заряды могут перемещаться под действием электрического поля, а в диэлектриках электрический ток проводится плохо.

Однако, большинство веществ способны к поляризации, т.е. к образованию объемного дипольного электрического момента среды.

Диполь - совокупность двух равных по величине разноимённых точечных зарядов, находящихся на расстоянии друг от друга. Такая ориентационная поляризация типична для многих жидкостей и газов. Механизмы поляризации диэлектриков зависят от характера химической связи. В кристаллах с ковалентной связью поляризация обусловлена смещением электронов, а в полярных диэлектриках молекулы или радикалы представляют собой электрические диполи, ориентированные хаотично при отсутствии электрического поля, но при наличии электрического поля приобретают определенную ориентацию [3-5].

### Экспериментальная часть

Важной характеристикой различных композитов являются установленные взаимосвязи физико-механических и эксплуатационных свойств с диэлектрическими потерями и другими параметрами веществ. Диэлектрические потери могут быть обусловлены процессами, сопровождающими поляризацию диэлектрика. В ряде работ установлена связь между диэлектрическими свойствами и механической прочностью минеральных искусственных конгломератов, определяемая его фазовым составом и структурой. В данной работе представлены результаты диэлектрических свойств защитных покрытий, которые были выполнены на измерителе добротности Tesla BM-560 (рис. 1), с помощью которого определялись добротность и ёмкость контура [5, 10-15].



Рис. 1. Измеритель добротности Tesla BM-560

Добротность является величиной безразмерной и характеризует качество колебательной системы; чем выше добротность, тем меньше потери энергии системы. Ёмкость - характеристика конденсатора, показывающая его способность накапливать ток. Диэлектрическая проницаемость - характеристика вещества, которая соответствует увеличению электрической ёмкости конденсатора, заполненного данным веществом по сравнению с ёмкостью пустого конденсатора. Диэлектрические потери представляют собой часть энергии поля, необратимо преобразующуюся в теплоту в диэлектрике [1-5, 10, 17].

Диэлектрические потери (т.е. электрическая энергия, рассматриваемая в диэлектрике и вызывающая его нагрев) могут быть рассчитаны по формуле (1):

$$P = u^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

где  $C$  - ёмкость диэлектрика,  $u$  - напряжение приложенного поля,  $\omega$  - круговая частота,  $\delta$  - угол диэлектрических потерь.

Исследования диэлектрических свойств лакокрасочных защитных покрытий проведены на измерителе добротности в интервале частот от 40 до 80 МГц, но лучшие результаты по сопоставлению и сходимости были получены на частоте  $50 \pm 5$  МГц при температуре 20 °С. При измерениях на данном приборе определялась добротность колебательного контура с незаполненной измерительной ячейкой  $Q_1$  и его ёмкость  $C_1$ , а также добротность  $Q_2$  и ёмкость  $C_2$  контура исследуемым материалом. Разность значений добротности  $\Delta Q = Q_1 - Q_2$  характеризует диэлектрические потери в исследуемом материале. Расчёт тангенса угла ди-



электрических потерь ( $tg\delta$ ) производится по формуле [11-13, 17]:

$$tg\delta = \frac{C_1}{Q_1} \frac{\Delta Q}{Q_2 \Delta C}. \quad (2)$$

Расчёт диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  по величине электрической ёмкости  $C$  в простейшем случае (плоский конденсатор), производился по соотношению [10-16]:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{l}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная.

Лакокрасочные защитные покрытия не обладают большой сквозной электрической проводимостью, что делает достаточно сложными их исследование на измерителях добротности. Поэтому было изготовлено специальное измерительное устройство для исследуемых лакокрасочных покрытий с пружинными прижимами электродов для плотного соприкосновения с измеряемым веществом. В целом измерительная схема представляет собой последовательно соединённые конденсаторы, ёмкость которых соответственно равна  $C_1$ ;  $C_2$  и  $C_3$  и т.д. Поэтому для значения её ёмкости справедлива формула:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (4)$$

Использование данной методики измерений упрощает вопрос расчета. При вычитании значений, соответствующих отдельным компонентам с испытуемым материалом, величин, относящих к пустой ячейке, получим значения добротности и ёмкости, соответствующие испытуемому материалу. Вместе с тем прямой расчёт значений диэлектрической проницаемости не очевиден, так как на границе раздела фаз возможно установление дополнительной поляризации, не учтённой в формуле (4).

Собственная ёмкость катушки индуктивности  $C_0$  определяется по формуле:

$$C_0 = \frac{C_1 - 4 \cdot C_2}{3},$$

Величины  $\varepsilon$  и  $tg\delta$  часто измеряются ку-метром. В этом случае расчетные формулы имеют следующий вид:

$$C = C_1 - C_2$$

$$\xi = \frac{C}{C_0}$$

$$tg\delta = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot C_1}{Q_1 \cdot Q_2 \cdot (C_1 - C_2)}$$

где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  — ёмкости эталонного конденсатора и добротности контура до и после подключения измерительного конденсатора.

Для измерения диэлектрических характеристик лакокрасочных покрытий разработано устройство для измерения с прижимной пружиной для плотного прилегания электродов (рис. 2).

А.



Б.



Рис. 2. Внешний вид устройства (А) и схема образца для испытания лакокрасочных покрытий (Б):

1 – электрод; 2 – полимерное лакокрасочное покрытие; 3 – металлическая (стальная) подложка

Известно, что наноразмерные добавки существенно изменяют свойства различных композиционных материалов. Так, углеродные нанотрубки (УНТ) повышают диэлектрические характеристики, огнестойкость и улучшают механические свойства. Диоксид титана и оксид висмута способствуют повышению атмосферостойкости и сопротивляемости ультрафиолетовому облучению, а также повышают термостойкость. Введение оксида церия приводит к



повышению огнестойкости и термостойкости. Оксид цинка способствует повышенной прочности, атмосферостойкости и сопротивляемости ультрафиолетовому облучению. Влияние добавки оксида кремния и оксида магния выражается в повышении огнестойкости, ударопрочности, твердости и химической устойчивости [6-9].

Исследованные лакокрасочных покрытий на основе акриловых полимеров проводили на стальных подложках после полного высыхания и отверждения защитного покрытия. В качестве вариационных компонентов были приняты различные наноразмерные добавки, обеспечивающие получения покрытий с заданными свойствами. Фиксация физико-механических свойств защитных лакокрасочных покрытий осуществлялась по стандартным методикам. В первую очередь определялись реологические характеристики лакокрасочных составов и укрывистость, что важно с технологической точки зрения. После отверждения проверялись микротвердость и адгезионная прочность, а также объемная равновесная степень набухания [6-9].

Параллельно готовились образцы для термомеханических, спектральных, фото-

электроколориметрических и прочих физико-химических исследований. Таким образом, был проведен полный комплекс испытаний акриловых лакокрасочных покрытий с нанодобавками, обеспечивающий подтверждение и аргументацию проводимых диэлькометрических исследований. Ниже в таблицах 1–3 представлены результаты изменение параметров диэлектрических свойств защитных покрытий лакокрасочных покрытий с различными дозировками наноразмерных добавок [8-9].

Анализируя результаты приведенных выше испытаний, можно сделать следующие выводы.

При введении углеродных нанотрубок от 0 до 0,5% имеет место увеличение показателя добротности с 70 единиц до 135, одновременно сопровождающееся понижением тангенса угла диэлектрических потерь с 0,019 до 0,007 и повышением адгезии лакокрасочного состава с 2,1 МПа до 5,1 МПа. Следует также отметить и характер отрыва при адгезионных испытаниях с адгезионного (состав без добавок) до адгезионно-когезионного (15%-85%) для составов с 0,5% углеродных нанотрубок. Отмечено также, что даже минимальное введение УНТ (0,05%) в состав лакокрасоч-

Таблица 1 – Лакокрасочное покрытие АК-1301, модифицированное углеродными нанотрубками (УНТ)

№ п/п	Расшифровка	Добротность $Q_2$	Емкость $C_2, pf$	Тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ )	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	Среднее значение адгезии, МПа	Усредненный характер отрыва
1	Без добавок	70	27,60	0,019	16,467	2,1-2,3	Адгезионный 100%
		80	27,00	0,016	16,667		
		75	28,38	0,018	16,207		
2	0,05%	105	24,42	0,011	17,527	3,5-3,7	Адгезионно-когезионный (90%-10%)
		105	23,80	0,011	17,733		
		100	24,76	0,011	17,413		
3	0,1%	115	25,18	0,010	17,273	4,0-4,1	Адгезионно-когезионный (50%-50%)
		120	23,95	0,009	17,683		
		115	20,94	0,009	18,687		
4	0,25%	120	22,35	0,009	18,217	4,4-4,7	Адгезионно-когезионный (50%-50%)
		125	23,55	0,008	17,817		
		135	22,51	0,007	18,167		
5	0,5%	130	22,56	0,008	18,147	4,9-5,1	Адгезионно-когезионный (15%-85%)
		125	21,84	0,008	18,387		
		125	21,51	0,008	18,497		



сочной композиции способствует резкому подъему адгезионной прочности с 2,1 до 3,6 МПа, сопровождающееся значительным повышением добротности и снижением величины тангенса угла диэлектрических потерь с 70 до 105 с 0,019 до 0,011 соответственно.

ротности и тангенса угла диэлектрических потерь, однако наблюдается резкое повышение адгезионной прочности в полтора-два раза по сравнению с составом без добавок. Дальнейшее повышение содержания данных оксидов не приводит к положитель-

Таблица 2 – Лакокрасочное покрытие АК-1301, модифицированное оксидом висмута

№ образца	Расшифровка	Добротность $Q_2$	Емкость $C_2, pf$	Тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ )	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	Среднее значение адгезии, МПа	Усредненный характер отрыва
1	Без добавок	70	27,60	0,019	16,467	2,1-2,4	Адгезионный 100%
		80	27,02	0,016	16,667		
		75	28,38	0,018	16,207		
2	$Bi_2O_3$ 0,5%	75	20,40	0,016	14,867	3,4-3,6	Адгезионно-когезионный (90%-10%)
		80	28,47	0,016	16,177		
		75	27,61	0,017	16,467		
1	$Bi_2O_3$ 1%	80	29,12	0,017	15,960	3,5-3,7	Адгезионно-когезионный (10%-90%)
		75	28,52	0,018	16,160		
		75	28,86	0,018	16,047		

Таблица 3 – Лакокрасочное покрытие АК-1301, модифицированное оксидом титана

№ п/п	%	Емкость $C_1, pf$	Добротность $Q_2$	Емкость $C_2, pf$	Тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ )	Диэлектрическая проницаемость $\xi$	Твердость по карандашу	Адгезия, МПа
1	0	76,00	68	26,27	0,019	14,728	2В	2,1-2,3
2	1,0	76,00	70	26,74	0,019	14,588	2В	2,7-3,3
3	2,5	76,00	67	25,21	0,019	15,041	НВ	2,2-2,4
4	5,0	76,00	66	24,99	0,019	15,107	НВ	1,5-2,1
5	7,5	76,00	67	24,86	0,019	15,145	Н	1,3-1,8

Таким образом, можно считать, что для получения составов лакокрасочных защитных покрытий с требуемыми параметрами адгезии в пределах от 3,0 до 4,0 МПа вполне достаточно введение 0,05% УНТ. Дальнейшее увеличение содержания УНТ в составе лакокрасочной композиции не приводит к существенным изменениям вышеприведенных показателей кроме изменения характера отрыва при измерении адгезии: по мере повышения процентного содержания углеродных нанотрубок отмечен переход от чисто адгезионного отрыва к преимущественно когезионному.

Введение оксида висмута и оксида титана в малых дозах (до 1%) не приводит к существенному изменению параметров доб-

рым результатам и даже отмечено снижение показателя адгезии при избытке оксида титана. Следует отметить также изменение твердости покрытия.

Большой интерес вызывал вопрос изменения добротности и тангенса угла диэлектрических потерь в процессе эксплуатации защитных лакокрасочных покрытий длительное время по аналогии с минеральными вяжущими [17]. В таблице 4 приведены обобщенные результаты установленной взаимосвязи диэлектрических свойств с характеристиками акрилового покрытия на протяжении двадцати лет. Результаты исследований показывают, что диэлектрические свойства имеют тенденцию к изменению: для новых покрытий показатель доб-



Таблица 4 – Изменение диэлектрических параметров лакокрасочного покрытия в зависимости от длительности его эксплуатации

Год	Добротность $Q_1$	Емкость $C_1, pF$	Добротность $Q_2$	Емкость $C_2, pF$	Тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ )	Диэлектрическая проницаемость $\xi$	Адгезия балл. ГОСТ 31149	Твердость по карандашу ГОСТ 54586	Площадь, на которой произошло шелушение ЛКП, мм <sup>2</sup> (на участке 0,25 мм <sup>2</sup> )
2001	470	76,00	46	23,10	0,028	15,666	1	5H	0,027
2014	470	76,00	50	23,34	0,026	15,595	1	3H	0,004
2016	470	76,00	55	25,33	0,024	15,015	1	3H	0,0015
2020	470	76,00	60	25,78	0,022	14,873	0	2H	не наблюдается
2021	470	76,00	65	27,12	0,021	14,511	0	2H	не наблюдается

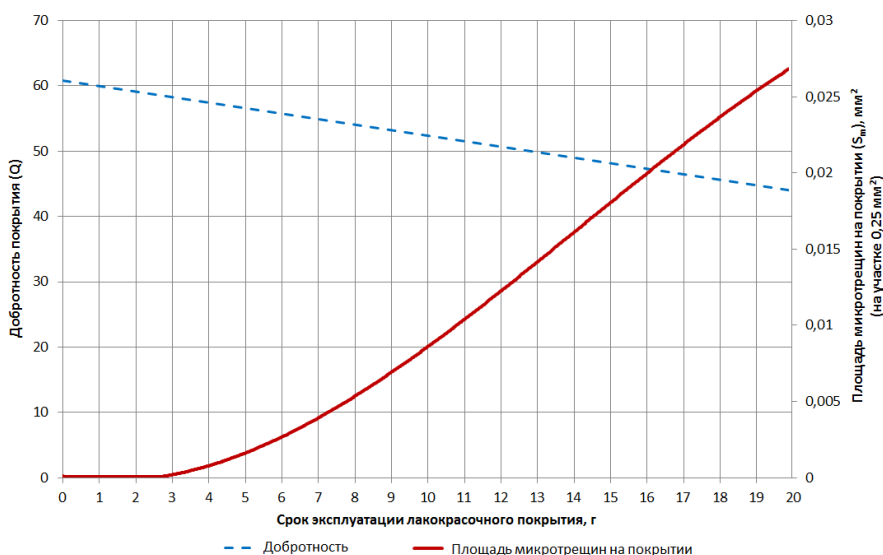


Рис. 3. Зависимость изменения добротности акрилового лакокрасочного покрытия и площади образования микротрещин от времени эксплуатации

ротности принимает максимальные значения (65), которые с годами уменьшаются до 46. В то же время тангенс угла диэлектрических потерь существенно снижает свои значения с 0,028 до 0,021. Таким образом, выявлена закономерность изменения диэлектрических свойств во времени, соответствующая изменению физико-механических свойств защитного покрытия.

Так, в первые годы эксплуатации отсутствуют какие-либо нарушения целостности поверхностного слоя покрытия. Через пять лет отмечено начало деградации покрытия, выражающееся в образовании микротрещин и возможном шелушении. В по-

следующем данный процесс прогрессирует и через двадцать лет приводит к значительным изменениям целостности защиты, что сопровождается повышением твердости лакокрасочного покрытия и раскрытием микротрещин. На рис. 3 представлен график изменения добротности и старения лакокрасочного защитного покрытия по интенсивности нарастания дефектов во времени.

### Заключение

Приведенное сопоставление позволяет сделать важный вывод о возможности оценки качества и долговечности защитных лакокрасочных покрытий по величине доб-



ротности и тангенсу угла диэлектрических потерь не только уже функционирующих объектов, но и спроектировать требуемый состав или композицию для работы в определенных эксплуатационных условиях.

Высокочастотный диэлькометрический анализ отражает существенные изменения структуры лакокрасочного покрытия с различными нанодобавками, что позволяет целенаправленно проектировать составы, отвечающие реальным эксплуатационным условиям. Поскольку диэлектрические характеристики металлической подложки со временем службы покрытия остаются практически неизменными, то эти параметры определяются, в основном, свойствами лакокрасочного материала. По полученной градуировочной кривой в координатах «возраст защитного покрытия - добротность» можно устанавливать срок службы лакокрасочных материалов. Практическое определение возраста акриловых защитных покрытий, эксплуатировавшихся различное время позволило получить объективные результаты, соответствующие реальности по сходимости. Дальнейшие исследования, связанные с определением влияния климатических воздействий, знакопеременных нагрузок, органических и минеральных добавок, а также соотношения компонентов продолжают.

#### Список источников

1. Хиппель, А.Р. Диэлектрики и их применение / А.Р. Хиппель. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 336 с.
2. Сканава, Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И. Сканава. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1949. 500 с.
3. Потахова, Г.И. Диэлектрические потери в щелочно-галоидных кристаллах на высокой частоте / Г.И. Потахова.- Автореф... канд. диссерт., Томск, 1957. 9 с.
4. Воробьев, А.А. Физические свойства ионных кристаллических диэлектриков. Кн. 1 / А.А. Воробьев. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1960. 231 с.
5. Водопьянов, К.А. Диэлектрические потери в кристаллах на высокой частоте / К.А. Водопьянов, Г.И. Галибина // Известия Томского политех. ин-та. 1956. Т. 91. С. 269-276.
6. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений. (Монография). - Новосибирск, 2010. 123 с.
7. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования // Известия ВУЗов. Строительство. 2020. № 6. С. 81-90.
8. Пичугин, А.П. Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах / А.П. Пичугин, О.Е. Смирнова, А.А. Шаталов // Науки о Земле. 2019. №4. С.131-142.
9. Пичугин, А.П. Термомеханические исследования защитно-пропиточных композиций с наноразмерными и специальными добавками / А.П. Пичугин [и др.] // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3. С. 53-58.
10. Бердов, Г.И. Диэлькометрический анализ влияния раствора электролита на свойства цементных материалов / Г.И. Бердов [и др.] // Известия ВУЗов. Строительство. 2015. № 8. С. 21-24.
11. Машкин, А.Н. Диэлькометрический анализ процесса гидратационного твердения цементного камня / А.Н. Машкин [и др.] // Известия ВУЗов. Строительство. 2015. № 2. С. 27-30.
12. Бердов, Г.И. Диэлькометрический анализ процесса гидратационного твердения цементного камня / Г.И. Бердов, А.Н. Машкин, С.А. Виноградов // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 107-109.
13. Бердов, Г.И. Влияние тепловлажностной обработки на структуру и свойства цементного камня / Г.И. Бердов, С.А. Виноградов, А.Ф. Бернацкий // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 81-85.
14. Машкин, А.Н. Диэлькометрическое исследование влияния режимов тепловлажностной обработки на свойства цементного камня / А.Н. Машкин [и др.] // Известия ВУЗов. Строительство. 2015. № 3. С. 23-27.
15. Бердов, Г.И. Определение качественных характеристик и прогнозирование долговечности мелкозернистых бетонов / Г.И. Бердов [и др.] // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов: меж-



дунар. сб. научн. тр. - Новосибирск: НГАУ, РАЕН, козернистом бетоне / С.А. Виноградов [и др.] //  
РАПК, 2019. С.60-63. Известия ВУЗов. Строительство. 2019. № 3.  
17. Виноградов, С.А. Диэлектрические С. 20-30.  
свойства и прочность цементного камня в мел-

#### **Информация об авторах**

*А.В. Пчельников* - кандидат технических наук, доцент Новосибирского государственного аграрного университета;  
*А.П. Пичугин* - доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного аграрного университета;  
*Р.В. Луцик* – магистрант Новосибирского государственного аграрного университета;  
*С.Е. Ткаченко* – аспирант Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета.

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

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.

Original article

## **DIELKOMETRIC ANALYSIS OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS AND AGING PROCESS OF PROTECTIVE COATINGS**

**Alexander Vladimirovich Pchelnikov<sup>1</sup>, Anatoly Petrovich Pichugin<sup>2</sup>,  
Roman Vyacheslavovich Lutsik<sup>3</sup>, Sergey Evgenievich Tkachenko<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, RF

<sup>4</sup> Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, RF

<sup>2</sup> gmunsau@mail.ru

**Annotation.** The paper studies the condition of paint and varnish compositions with various nanoscale additives that harden for various service periods. It has been established that nanoadditives significantly affect most of the properties of protective coatings, including adhesion, strength, hardness, water resistance, and corrosion resistance. The good resistance of protective coatings with nanoadditives to operational impacts was noted. The authors examined the interrelation of dielectric characteristics with operational properties for acrylic paint compositions operated in real conditions. They obtained the results confirming the dependence of the properties of the material on its dielectric parameters, such as the tangent of the dielectric loss angle and the Q-factor, correlating with changes in the physical and mechanical parameters of protection.

**Keywords:** paint and varnish materials, nanoscale additives, dielectric characteristics; tangent of the dielectric loss angle, Q-factor

**For citation:** Dielkometric analysis of operational characteristics and aging process of protective coatings / A.V. Pchelnikov, A.P. Pichugin, R.V. Lutsik, S.E. Tkachenko // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 14-22. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_14.



***Information about the authors***

*A.V. Pchelnikov* - Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State Agrarian University;

*A.P. Pichugin* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Novosibirsk State Agrarian University;

*R.V. Lutsik* – Master's student, Novosibirsk State Agrarian University;

*S.E. Tkachenko* - PhD student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

*Contribution of the authors:* the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.



Научная статья

УДК 544:539:422.5:691.535

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_23

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДЕГРАДАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ФРАКТАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА

Владимир Павлович Селяев<sup>1</sup>, Павел Владимирович Селяев<sup>2</sup>, Ерлан Ергалиевич Хамза<sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, РФ

<sup>3</sup> Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<sup>1, 2</sup> ntorm80@mail.ru

<sup>3</sup> erlan.hamza@mail.ru

**Аннотация.** Исходя из принципов фрактальной геометрии Б. Мандельброта и теории разрушения А. Гриффитса предложены модели для описания процесса деградации железобетонных изгибаемых элементов. Выполнено экспериментальное обоснование фрактального строения структуры бетона. Установлено, что фрактальная размерность является объективной характеристикой степени однородности структуры. Экспериментально установлено, что в процессе нагружения бетона развивается процесс деградации структуры, который выражается в последовательном разрушении фракталов на различных масштабных уровнях. Установлена аналитическая зависимость между прочностью бетона при сжатии, растяжении и коэффициентом трения.

**Ключевые слова:** бетон, деградация, прочность, фрактал, модель

**Для цитирования:** Селяев В.П., Селяев П.В., Хамза Е.Е. Основы теории деградации и прогнозирования долговечности железобетонных конструкций с учетом фрактального строения структуры материала // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 23-36. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_23.

Деградация – процесс, который развивается в соответствии со вторым законом термодинамики. Беспорядок или энтропия всегда возрастают с течением времени. По мнению Стивена Хокинга: «Беспорядок будет возрастать с течением времени, если система удовлетворяет начальному условию, требующему, чтобы ее исходное состояние было высокоупорядоченным».

Следовательно, проектируя самую совершенную конструкцию из материала с высокоупорядоченной структурой мы должны понимать, что в процессе эксплуатации она будет деградировать и этот процесс закончится разрушением конструкции, ее переходом в состояние беспорядка. Это всеобщий

закон деградации, который можно сформулировать в следующем виде: любая высокоупорядоченная, структурированная система имеет тенденцию развиваться в худшую сторону – от порядка к беспорядку. Поэтому проектируя, изготавливая железобетонные конструкции необходимо не только обеспечить заданную надежность, долговечность, экономичность, но и уметь контролировать, прогнозировать поведение конструкций в процессе эксплуатации.

Для решения этой задачи необходимо разрабатывать основы теории деградации железобетона.

Железобетон - композиционный материал, который состоит из матрицы (бе-



тона) и усиливающего компонента – арматуры. Поэтому процесс деградации железобетона будет определяться как ухудшением свойств бетона, так и арматуры их отношением к действию нагрузок и агрессивных сред.

В предлагаемой работе рассматривается процесс деградации цементного бетона железобетонных конструкций.

Бетон – искусственный камень, который изначально имеет блочно– иерархическую неоднородную структуру и содержит множество дефектов различного уровня и генезиса [1-4].

Экспериментально установлено, что структура каменных материалов формируется из блоков подобных на различных масштабных уровнях по принципу «блок в блоке», «структура в структуре» [5-9].

Признаки многомасштабности и самоподобия структуры являются по Б. Мандельброту основными постулатами фрактальной геометрии [5].

Длительное время теория разрушения железобетонных конструкций формировалась на основе принципов механики деформируемого твердого тела, которые не отражали особенности строения структуры, работы бетона под нагрузкой. Разрушение рассматривалось как мгновенный акт, который наступает при условии, что напряжения в материале или усилия, воспринимаемые сечением, достигнут предельных значений.

На смену гипотезам о сплошной, однородной среде формируются представления о дискретно-непрерывном строении структуры материала [1-18]. В работах М.А. Садовского, С.А. Христиановича, Е.И. Шемякина, В.А. Сарайкина, А.И. Чанышева, М.В. Курленя, А.Н. Опарина отмечается, что в процессе нагружения каменных материалов возникает дискретная иерархия фрагментов с определенной последовательностью преимущественных размеров [6-9, 11-14, 16].

По мнению В.И. Соломатова, С.М. Скоробогатова, Ю.В. Зайцева, Е.М. Чернышева

структура бетона фрагментарна, неоднородна, многофазна. В процессе эксплуатации под действием внешнего энергетического поля в объеме бетона происходит генерация и накопление микротрещин, дефектов, которые инициируют процесс разрушения. Интенсивность и характер эволюции структуры бетона зависит: от вида энергетического воздействия; уровня напряжений статических и динамических; температуры; влажности; химической агрессивности среды [1-4].

В работах В.В. Новожилова, Ю.В. Петрова для описания процесса разрушения материалов с дискретным, блочным строением структуры предлагается квантово – механический подход, основанный на постулатах: о дискретном характере выделения и поглощения энергии (энергия выделяется и поглощается элементарными порциями — квантами); процесс разрушения является многоступенчатым и многоуровневым; все твердые тела состоят из пространственных структурных элементов конечного размера; элементарный акт разрушения есть разрушение одного структурного элемента; параметры критериев разрушения, в том числе и размер структурного элемента должны выбираться так, чтобы в предельных случаях выполнялся принцип соответствия [19-20].

При всем многообразии проявления неоднородностей бетон имеет блочно-иерархическую структуру, которая соответствует принципам многомасштабности и самоподобия. Следовательно, при описании процесса деградации структура бетона необходимо учитывать: иерархию блочной структуры; коэффициент вложенности одних блоков в другие. Предполагается, что контакт между блоками можно представить в виде дилатансионных оболочек, которые по свойствам отличаются от материала массива.

Исходя из вышеизложенного, основы теории деградации будем формировать исходя из принципов фрактальной геометрии Б. Мандельброта и теории А. Гриффитса.

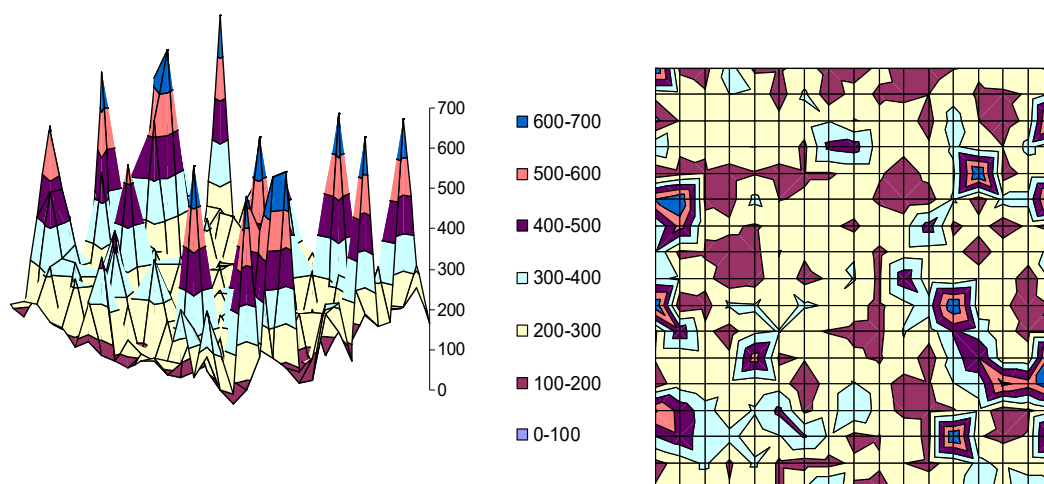


Рис. 1. Распределение микротвердости по поверхности наполненных диатомитом цементных композитов

Работами Т.А. Низиной, Л.М. Ошкиной, Л.И. Куприяшкиной доказано, что структура бетона обладает явно выраженной фрагментарностью, неоднородностью, изломанностью и искривленностью ее элементов. На рис. 1 приведены данные об изменении микротвердости твердой фазы композита в пределах поперечного сечения призмы, которые свидетельствуют о том, что микротвердость, а следовательно, и прочность композита распределены крайне неравномерно [4, 20-22].

Кроме того, в матрице имеются включения: твердость которых на несколько порядков выше твердости матрицы (зерна заполнителя и наполнителя); с нулевой твердостью – поры, заполненные газом или водой. Для моделирования, описания свойств подобных объектов предлагается применять методы фрактальной геометрии.

Для подтверждения самоподобия (масштабной инвариантности) структур бетона были определены фрактальные размерности на различных масштабных уровнях [4, 20-26].

Установлено, что фрактальная размерность является объективной характеристикой степени однородности структуры. Прослеживается четкая зависимость фрактальной размерности от степени наполнения цементных композитов. Если фрактальная размерность матрицы (связующее без

наполнителя)  $D = 1,23(d = 1)$ , то при наличии минерального зернистого наполнителя  $D = 1,5 \div 1,8(d = 1)$ . В то же время фрактальная размерность практически не зависит от масштабного уровня анализируемых структур (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Фрактальная размерность структуры цементных композитов  $D(d = 2)$  на различных масштабных уровнях

№ п/п	Состав цементных композитов			Фрактальная размерность $D(d = 2)$	
	Цеолит, %	песок / цемент	В/Ц	ув.×10	ув.×20
1	10	4/1	0,6	2,55	2,47
2	17	2/1	0,6	2,42	2,40
3	20	1/1	0,6	2,03	2,03
4	10	3/1	0,7	2,20	2,20
5	10	2/1	0,8	2,22	2,20

Этот вывод подтверждается при фрактальном анализе поровой структуры цементных композитов.

Экспериментально установлено, что фрактальная размерность поровой структуры цементных композитов не зависит от масштаба увеличения и принимает значения 1.418; 1.430; 1.445, которые соответствуют соотношению цемент/песок – 1/2; 1/3; 1/4.

Фрагментарность строения структуры бетона подтверждается и при исследова-



нии распределения микротвердости (модуля упругости, прочности) в пределах площади боковых поверхностей железобетонных балок. Железобетонные балки с размерами поперечного сечения 10x20 см. и пролетом 90см были армированы композитной арматурой.

Анализ распределения прочности бетона в пределах площади боковой поверхности балки производился на основе экспериментальных данных, полученных М.Ф. Алимовым неразрушающим методом контроля прочности по данным измерений прибором Пульсар-1.

Фрактальную размерность определяли методом сечений, основанным на определении длины профиля кривой распределения прочности по длине образца (см. рис.2). Для этого используем формулу:

$$D = \mathcal{L} \frac{\ln N_i}{\ln(1/m_i)}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – заданный масштаб;  $N_i$  – количество масштабных единиц по длине профиля.

По данным, представленным на рисунке 2 при масштабе измерения  $m=1/8$ , будем иметь  $N=10$  и  $D=1,1$ . Следовательно, фрактальное строение структуры подтверждается и на макроуровне. По длине балки

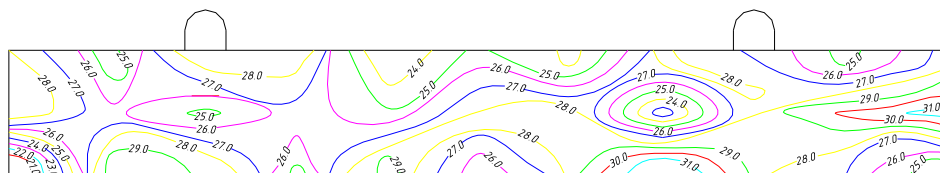


Рис. 2. Распределение прочности бетона на боковой поверхности балки, определенное неразрушающим методом

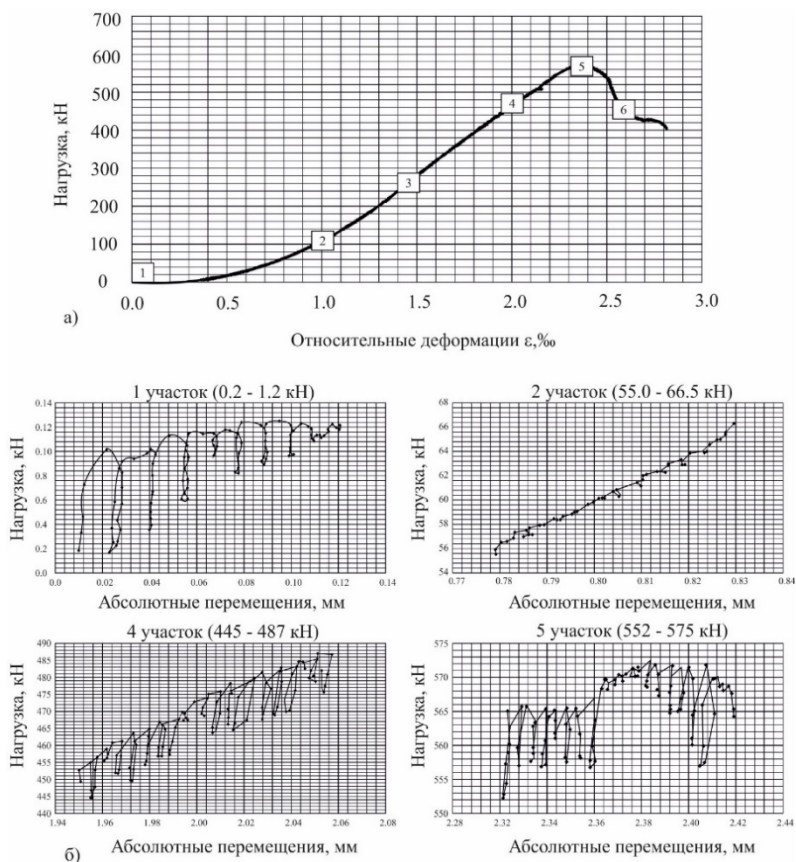


Рис. 3. Диаграмма зависимости нагрузки от перемещения (скорость 0.5 мм/мин., частота сбора данных 0.1 сек.):

а) общий вид диаграммы деформирования; б) вивучастков 1, 2, 4, 5



можно выделить пять блоков, отличающихся прочностью бетона.

Гипотеза о фрактальном строении структуры цементных композитов подтверждается как по результатам анализа фрактальной размерности структуры, так и по экспериментальным данным, полученным в результате расшифровки диаграммы деформирования при сжатии образцов из бетона.

Установлено, что разрушение композитов при нагружении является дискретно-непрерывным процессом, который суммируется из множества отдельных, частных актов разрушения фрактальных кластеров [9].

Экспериментальные исследования проводились с применением комплекса Welle Geotechnik (модель 13-PD/401), который позволяет производить испытание на сжатие бетонных призм при скорости нагружения 0,5 мм/мин. и снимать показания изменения деформаций через каждые 0,1 сек. Сверхчастотные измерения деформации позволили зафиксировать дискретность непрерывного процесса разрушения. На диаграмме деформирования (см. рис. 3) четко фиксируются моменты сброса и подъема нагрузки, связанные с разрушением (на наш взгляд) отдельных структурных элементов. Прерывистое развитие процесса деформирования, который имеет явное отличие на различных участках по мере роста деформации. Предположим, что каждый сброс нагрузки означает разрушение фрактала (или группы). Тогда подсчитав количество сбросов нагрузки (отказов фракталов), можно построить график изменения интенсивности отказов с ростом деформаций. График частоты отказов структурных элементов, полученный по данным диаграммы деформирования, представлен на рисунках 4, 5.

Интенсивность отказов – число отказавших структурных элементов в единицу времени, отнесенное к числу изделий, оставшихся исправными к началу рассматриваемого промежутка времени, определяли по формуле:

$$\lambda_j = \frac{j(\Delta t_i)}{(m-j)\Delta t'}$$

где  $j(\Delta t_i)$  число отказов за промежуток времени  $\Delta t_i$ ;  $m$  – начальное число элементов в системе;  $j$  – общее число отказавших элементов за время  $\Delta t$ .

Вид графиков интенсивности отказов (рис. 4) и лямбда – критерия (рис. 5) соответствует классическим представлениям об интенсивности отказов элементов в сложной системе в зависимости от переменного параметра ( $t$  или в данном случае  $\epsilon$ ) [4]. На графике рис. 5 представлены четыре области: первая область повышенной интенсивности отказов отражает наличие скрытых дефектов, которые формируются из-за технологических нарушений. Вторая область стабильной работы системы характеризуется незначительной равномерной интенсивностью отказов; третья область характеризуется нарастанием отказов, разрушением фракталов; четвертая характеризуется лавинообразным характером нарастания интенсивности отказов структурных элементов.

График накопления повреждений (рис. 4) в структурной системе соответствует классическим представлениям (моделям) о накоплении повреждений в сложных системах.

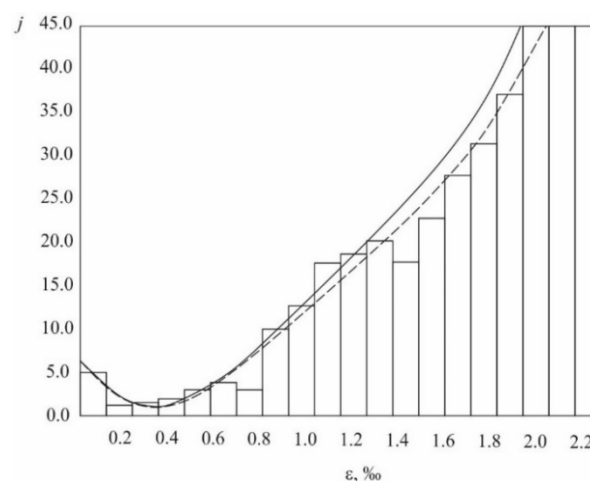


Рис. 4. Гистограмма частоты отказов в интервале  $\Delta \epsilon$  с ростом деформаций  $\epsilon$ , %

При анализе интенсивности отказов структурных элементов в качестве перемен-



ной величины принимали относительную деформацию  $\varepsilon$ , изменение которой происходит в интервале от нулевого значения  $\varepsilon = 0$  до предельного  $\varepsilon = \varepsilon_{бу}$ , соответствующего пределу прочности. Тогда лямбда – характеристику можно записать через относительные деформации и принимая  $U(\varepsilon) = \frac{E\varepsilon^2}{2}$ , в следующем виде:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{E}{2} \alpha \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{бу}} \right)^{\alpha-1} = \beta \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{бу}} \right)^{\alpha-1} \quad (2)$$

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  определены по экспериментальным данным, приведенным на рисунке 5. Для этого линеаризуем функцию (2) методом логарифмирования.

Получим уравнение:

$$\log \lambda = \log \beta + (\alpha - 1) \log \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{бу}} \right)$$

В логарифмических координатах экспериментальные данные хорошо ложатся на прямую линию в осях  $\log \lambda - \log (\varepsilon/\varepsilon_{бу})$  и тогда получаем  $\beta = 6,3$ ;  $\alpha = 2,4$  (см. рис. 6).

Подставив значения  $\alpha$  и  $\beta$  в формулу (2), вычисляем  $\lambda$  по соответствующим значениям  $(\varepsilon/\varepsilon_{бу})$ . На рисунке 4 показано, что вычисленные значения достаточно адекватны экспериментальным данным.

В результате анализа диаграмм деформирования, полученных путем испыта-

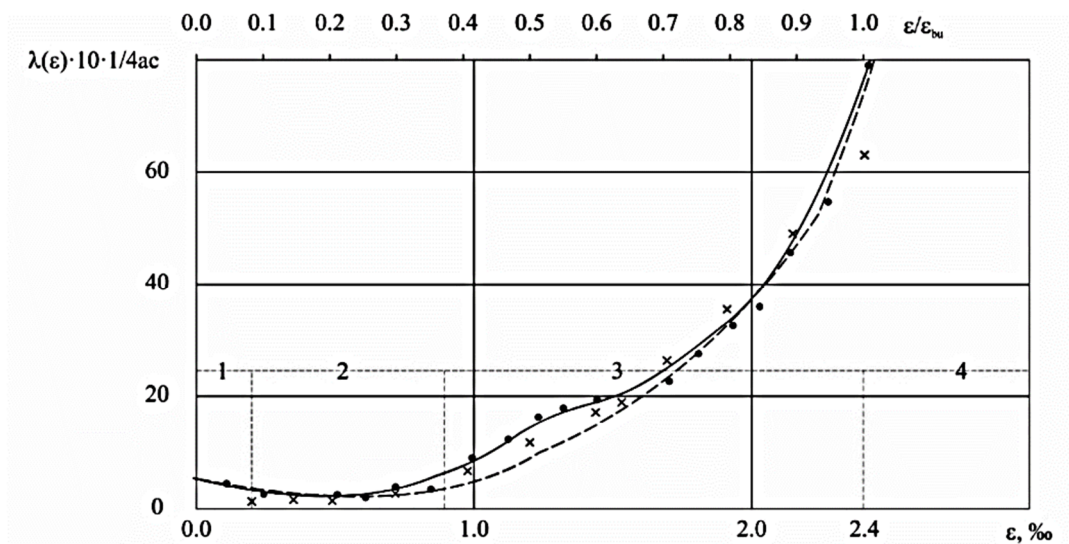


Рис. 5. График лямбда-критерия случайного процесса разрушений фракталов с ростом деформаций (• - экспериментальные данные; x - данные рассчитанные по формуле 2)

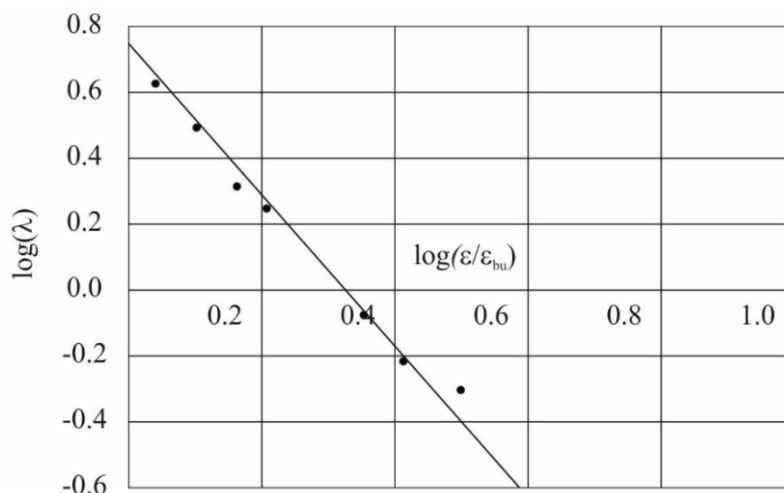


Рис. 6. Линеаризация зависимости  $\varepsilon = f(\varepsilon/\varepsilon_{бу})$



ния на сжатие бетонных призм 40x40x160 при скорости нагружения 0,5 мм/мин. и частотой измерения перемещений 0,1 сек., установлено:

– график деформирования при высокочастотном измерении перемещений можно рассматривать как репрезентативную выборку отказов структурных элементов (фракталов), которая подтверждает дискретно-непрерывный характер разрушения бетона под нагрузкой;

– графоаналитическая обработка экспериментальных данных подтверждает фрактальную природу процесса разрушения.

Действие агрессивных сред на бетон ускоряет процесс дезинтеграции фрактальной структуры, сопровождается ухудшением (деградацией) неравномерным по объему изделия и свойств материала. При этом визуально и инструментально установлены: изменение прочности, жесткости, твердости (см. рис. 7).

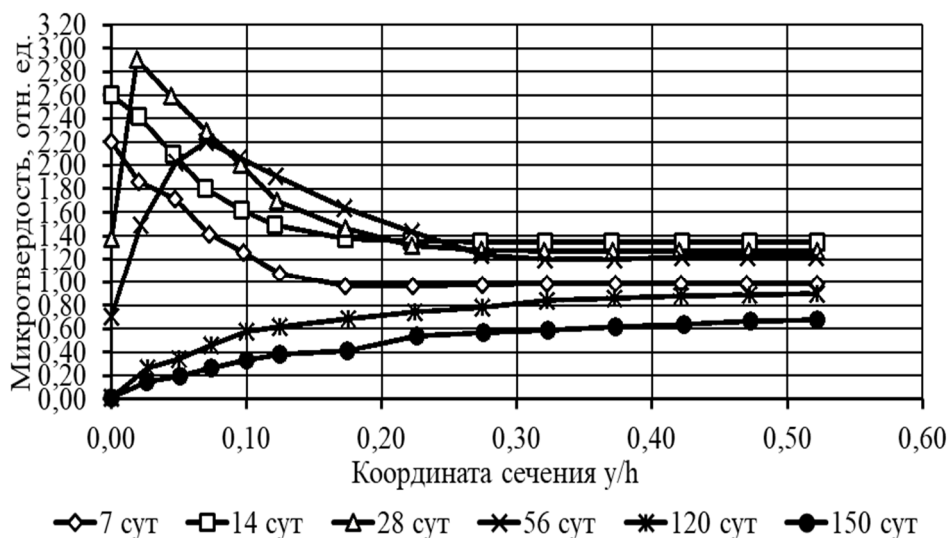


Рис. 7. Изменение микротвердости цементного камня (наполнение – шлак) в 2% р-ре H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Для аналитического описания процессов деградации необходимо разработать расчетные модели, позволяющие прогнозировать ресурс конструкции, ее долговечность в заданных условиях эксплуатации.

Каждый процесс деградации можно описать соответствующей функцией вида:

$$D = B(t)/B(0) = f(t, T, \sigma, c, h, K_{xc}, a, E, R, \omega_0, t_{0.5}), \quad (3)$$

где  $t$  - время;  $T$  - температура;  $\sigma$  - напряжение;  $E, R$  - модуль упругости и прочность композита;  $\omega_0$  - сорбционная емкость;  $t_{0.5}$  - время полураспада;  $C$  - концентрация агрессивной среды;  $h$  - геометрическая характеристика;  $K_{xc}$  - коэффициент химического сопротивления;  $a$  - глубинный показатель.

Для изгибаемых элементов деградационные функции жесткости и несущей способности имеют вид:

$$D(Wu) = \frac{\iint_{F(t)} E(t, y, x) y^2 dx dy}{\iint_{F(0)} E(t_0, y, x) y^2 dx dy} \quad (4)$$

$$D(M_p) = \frac{\iint_{F(t)} \varepsilon(t, x, y) E(t, y, x) y dx dy}{\iint_{F(0)} \varepsilon(t_0, x, y) E(t_0, y, x) y dx dy}$$

$$\frac{\iint_{F(0)} \varepsilon(t_0, x, y) E(t_0, y, x) y dx dy}{\iint_{F(t)} \varepsilon(t, x, y) E(t, y, x) y dx dy} \quad (5)$$

$$D(M) = \frac{\iint_{F(t)} \sigma(t, y, x) y dx dy}{\iint_{F(0)} \sigma(t_0, y, x) y dx dy} \quad (6)$$

Предлагается основные механизмы деградации представить феноменологическими моделями диффузионной, гомогенной в виде эпюр твердости модуля упругости или прочности по высоте поперечного сечения изделия, которые в зависимости от характера изохрон деградации могут быть линейными и нелинейными, симметричными и несимметричными.

Для описания деградации цементных композитов в растворах малой концентрации предлагается модель, представленная на рис.8. Эта диффузионная модель применима для материалов, у которых на изохроне деградации можно выделить 3 зоны: 1) деструкции; 2) латентной деградации; 3) естественного твердения.

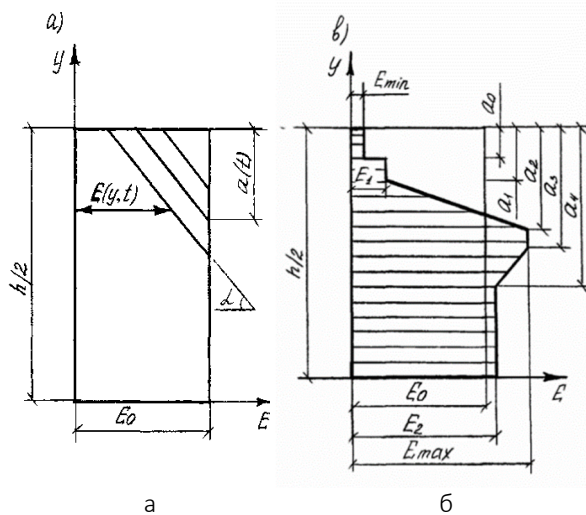


Рис. 8. Феноменологические модели деградации

В процессе эксплуатации конструкции в условиях действия агрессивных сред удобнее в качестве параметров деградации использовать глубинный показатель ( $a$ ) и относительное изменение свойств на поверхности элемента ( $K_{xc} = E(t) / E(0)$ ). Если в качестве упруго-прочностной характеристики принять модуль упругости, то с учетом модели, представленной на рис. 8 (б), деградационная функция жесткости элемента прямоугольного сечения с размерами  $b \cdot h$  при сжатии ( $D(W_c)$ ) определяется выражением:

$$D(W_c) = \frac{W_c(t)}{W_0(t)} = 2 \int_0^{h/2} E(y) b dy / (E_0 b h)$$

Если,  $a_1 = a_0$ ,  $a_2 = a_0$ ,  $a_3 = a_0$ ,  $a_4 = a_0$ ,  $E_{max} = E_0$ ,  $E_1 = E_0$ ,  $E_2 = E_0$  и  $E_{min} = 0$ , то имеем модель гетерогенной деградации:

$$D(W_c) = 1 - 2a_0 / h$$

Модель гомогенной деградации также является частным случаем обобщенной модели, так как при  $a_0 = 0$ ,  $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = h/2$ ,  $E_{max} = E_1$  и  $E_2 = E_1$ .

Применение фрактального подхода дает возможность изучать процессы деградации, определять показатели химического сопротивления на самоподобных объектах малого размера.

По Б.Б. Мандельброту структура фрактальна, если состоит из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Следовательно, формируя фрактальную модель разрушения композита необходимо, в соответствии с первым принципом: структуру на каждом масштабном уровне представить в виде системы структурных элементов подобной целому.

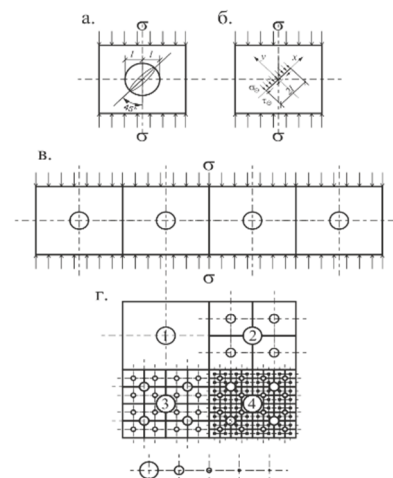


Рис. 9. Фрактальная модель структуры бетона:

а) первичный фрактал; б) расчетная модель фрактала; в) цепочный фрактал; г) плоский фрактал; 1,2,3,4,5, - уровни структуры



Построим фрактальную модель структуры бетона (см. рис. 9) с учетом условий: в бетоне имеются трещины  $\ell_i$ , ориентация которых относительно силовых линий произвольная; размер трещин коррелируется с размером дефектов  $d_i$ ; при изготовлении бетонных изделий формируется множество врожденных дефектов, размеры которых зависят от качественного уровня технологий; каждой технологии изготовления цементных композитов соответствуют дефекты  $\ell_0$ , размер которых можно нормировать, как показатель качественного уровня технологии; прочность цементных композитов на различных масштабных уровнях структуры зависит от размеров трещин (дефектов) и упругопрочностных свойств матрицы.

В теории Гриффитса длина трещины  $2\ell_0$  рассматривается как расстояние измеренное по прямой от начала до конца трещины. Но при фрактальной структуре материала «берега» трещины имеют характер ломаной кривой. Следовательно, истинная длина трещины разрушения и, соответственно, величина поверхностной энергии будет больше, чем учитывается в модели Гриффитса.

Максимальную длину трещины, образованной при ее развитии в композите с фрактальной структурой, предложено аппроксимировать функцией вида:

$$L(\alpha) = L_0 \alpha^{d_i - D_i}, \quad (7)$$

где  $d_i$  - топологическая размерность;  $D_i$  - фрактальная размерность;  $\alpha$  - масштабный уровень измерения;  $L_0$  - длина трещины от точки А до В по прямой линии. Для гладкой прямой линии ( $i=1$ )  $d_i=1$ ; для гладкой поверхности  $d_i = 2, i=2$ .

С учетом фрактальности строения структуры композита, уравнение баланса энергий высвобождаемой (энергия релаксации упругих связей) и расходуемой на приращение трещины разрушения  $V$ , можно записать в виде:

$$W = V - U = L(\alpha)\gamma - 0.5\sigma\varepsilon A,$$

где  $\gamma$  - удельная плотность поверхностной энергии;  $L(\alpha) = 4\ell\delta\alpha^{d_i - D_i}$ ;  $\delta$  - толщина пластины с трещиной ( $\delta=1$ );  $A = \pi\ell^2$  - площадь релаксации;  $U = 0.5\pi\sigma^2\ell_0^2/E$ . Критическая (для заданных напряжений  $\sigma$ ) длина трещины  $2\ell$  будет соответствовать максимуму функции  $W$ , который находим из условия  $dW/d\ell=0$ . Отсюда получаем:

$$\ell_0 = \frac{4\gamma E}{\pi\sigma^2} \alpha^{d_i - D_i}; \quad \sigma_\alpha = \sqrt{\frac{4\gamma E}{\pi\ell_0} \alpha^{d_i - D_i}}; \\ \sigma_\alpha = \sigma \alpha^{(d_i - D_i) \cdot 0.5} \quad (8)$$

Фрактальная размерность (Хаусдорфа - Безиковича)  $D_i$  определяется экспериментально.

Если формулы Гриффитса записать с учетом полученного решения (8), то получим выражения для определения прочности композита на различных масштабных уровнях  $\alpha$  в следующем виде:

$$R_{stia} = \frac{k_{1i}}{\sqrt{0,5\pi\ell_{oi}}} \alpha^{0.5(1-D)} \quad (9)$$

$$R_{eia} = \frac{4k_{2i}}{\sqrt{0,5\pi\ell_{oi}(1-\gamma)}} \alpha^{0.5(1-D)}; \\ \frac{R_8}{R_{et}} = 4 \frac{k_2}{k_1} \frac{1}{(1-\gamma)} \quad (10)$$

Для подтверждения достоверности полученных решений проведем анализ экспериментальных данных, представленных в нормативной (СНиП 2.03.01 - 84\*) и научной литературе.

Известны решения Хука-Бенявского и Брейса-Марела, в которых показана зависимость прочности горных пород от коэффициента трения  $\gamma$  и получены выражения, аппроксимирующие соотношения прочностей при сжатии и растяжении.

Зависимость коэффициента трения  $\gamma$  от класса бетона по прочности на сжатие  $B$ , определена экспериментально в виде линейной функции вида:

$$\gamma = 0,4 + 0,005 B \quad (11)$$

Формула получена по экспериментальным данным испытания бетонов классов В10÷В50 и результаты хорошо аппроксимируются прямыми линиями (см. рис. 10). Анализ данных показывает, что формула (10) более адекватно описывает соотноше-



ние между коэффициентом  $\gamma$  прочностью при сжатии и растяжении. При этом установлено, что  $k_1/k_2=1,3\div 1,4$

деградации по прочности поперечного сечения, нормального к оси изгибаемого элемента, показаны на рис. 12.

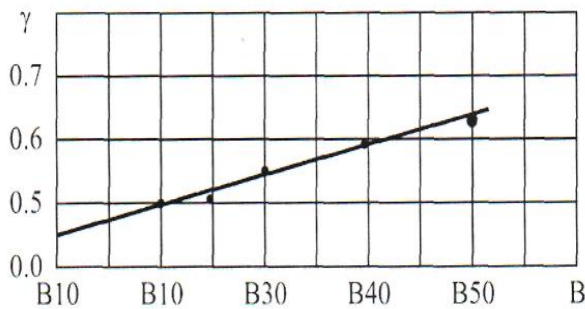


Рис. 10. Зависимость коэффициента трения от класса бетона на осевое сжатие В

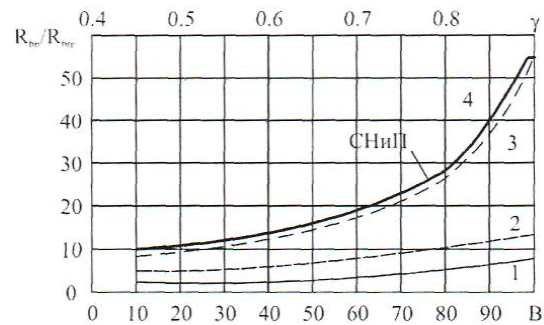


Рис. 11. Зависимость соотношения  $R_{en}/R_{etn}$  от класса бетона на осевое сжатие В и коэффициента трения  $\gamma$ : 1, 2, 3 – по таблице 3; 4 – по СНиП

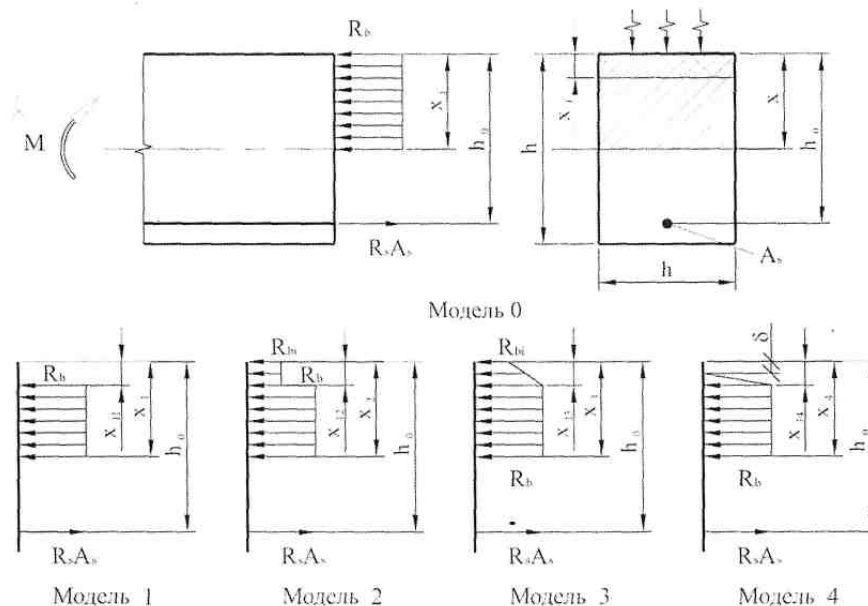


Рис. 12. Деграционные модели для расчета долговечности изгибаемого элемента по прочности нормальных сечений:

$R_s, R_b$  – расчетные сопротивления арматуры и бетона; с учетом фрактального строения структуры;  $x_i$  – высота сжатой зоны;  $h, h_0$  – полная и рабочая высота сечения;  $A_s$  – площадь поперечного сечения арматуры;  $b$  – ширина поперечного сечения элемента;  $x_{ij}$  – высота зоны деградации

С учетом полученных результатов рассмотрим изгибаемый элемент с прямоугольной формой поперечного сечения и одиночной арматурой (например, плита с арматурой в растянутой зоне).

Предположим, что деградация бетона плиты вызвана жидкими агрессивными средами, действие которых обусловлено технологической линией, расположенной на вышележащих этажах. Возможные модели

На расчетных схемах показано, что зона деградации ( $x_{ij}=a$ ) находится в пределах сжатой зоны ( $x_{ij} \leq x_i$ ); расчетное сопротивление, модуль деформаций в пределах зоны деградации могут изменяться по различным законам.

Введем обозначение:  $\xi_0 = x/h_0; \xi_{ij} = x_{ij}/h_0; \mu = A_s/bh_0$ . Тогда условие прочности можно записать в виде неравенства:

$$M \leq M_{uj}, \quad (12)$$



где  $M_{ui}$  – момент воспринимаемый сечением и определяемый по соответствующей расчетной модели ( $i=0,1,2,3,4$ ) деградации.

Для расчетной модели при  $i=0$  можно

Расчет наклонных сечений железобетонных изгибаемых элементов на действие поперечной силы по прочности предложено производить по условию:

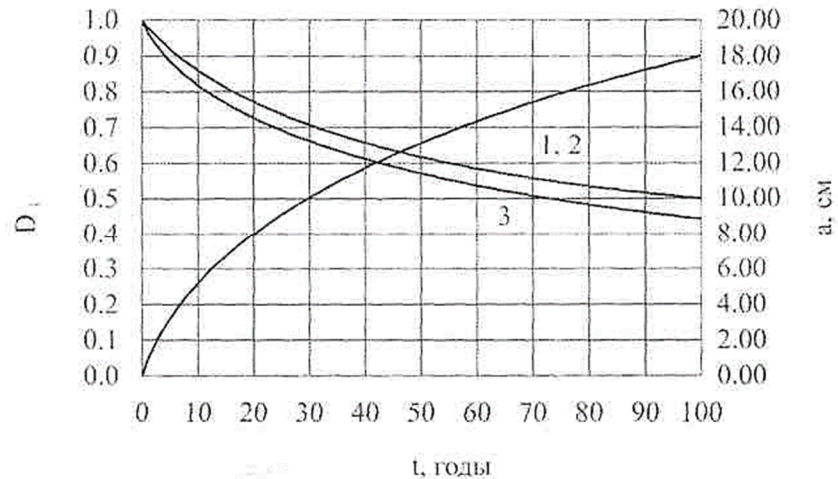


Рис. 13. 1.2 – графики изменения деградационных функции для соответствующих расчетных схем 3 – график изменение глубинного показателя  $a$

записать:

$$M_{u0} = R_b b x_0 (h_0 - 0,5x_0),$$

так как  $R_b b x_0 = R_s A_s$ , то обозначив  $\xi_0 = x_0/h_0$ , получим  $\xi_0 = \mu(R_s/R_b)$ . Тогда формула примет вид:

$$M_{u0} = \xi_0 (1 - 0,5\xi_0) R_b b h_0^2 = \alpha_m R_b b h_0^2$$

Рассмотрим расчетную модель гетерогенной деградации (рис. 12), анализ которой дает возможность получить два уравнения:

$$M_{u1} = R_b b (x_1 - x_{11}) [h_0 - 0,5(x_1 - x_{11}) - x_{11}]$$

$$R_b b (x_1 - x_{11}) = R_s A_s.$$

$$\text{Так как } \frac{x_1}{h_0} = \xi_1; \frac{x_{11}}{h_0} = \xi_{11}; \frac{R_s}{R_b} \mu = \xi_0,$$

то  $\xi_0 = \xi_1 - \xi_{11}$ , то с учетом сделанных преобразований получаем формулу для определения  $M_{u1}$  в следующем виде:

$$M_{u1} = M_{u0} \left( 1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0,5\xi_0} \right) =$$

$$= M_{u0} \left( 1 - \frac{k(\xi) \sqrt{D_{mt} \cdot t} / h_0^2}{1 - 0,5\xi_0} \right) \quad (13)$$

На рисунке 13 показаны графики изменения несущей способности нормальных сечений изгибаемых элементов.

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (14)$$

где  $Q_b$  – поперечная сила, воспринимаемая бетоном;  $Q_{sw}$  – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой.

Поперечное усилие  $Q_b$ , воспринимаемое бетоном, принято определять из условия, что разрушение не происходит, если главные нормальные напряжения не превосходят допустимого напряжения при растяжении  $\sigma_1 \leq R_{et}$ . Тогда поперечная сила  $Q_b(t)$  будет определяться по формуле вида: если  $a$  и  $R_c$  равны нулю, то имеем формулу М.С. Барижанского.

$$Q \leq \phi \frac{R_{et} e h_0^2}{C} \left[ 1 - \frac{a}{h} (1 - k_{x.c}) \right] + R_{sw} A_{sw}(t) \quad (15)$$

$$\text{где } a = k(\xi) \sqrt{D_{mt} t}; k_{x.c} = \frac{R_{bt}(t)}{R_{bt}(0)} =$$

$$= C_0 \exp\{-kt\}$$

Формула 15 не отвечает принципу соответствия, т.к. при  $C = 0$  значение  $Q = \infty$ . Если нет агрессивной среды и  $C = 0$ , то имеем чистый срез и условие прочности должно принять вид формулы 16.

Согласно третьей теории прочности  $\tau \leq R_{\tau}$  имеем:

$$Q \leq Q_{\tau 3} = \phi_1 R_{\tau} e h \quad (16)$$



Предполагается при анализе прочности наклонных сечений принять за критерий разрушения в виде условия (четвертое) прочно-

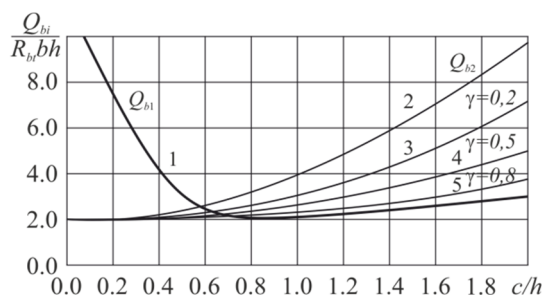


Рис. 14 Изменение поперечной силы при расчете по первой (1), третьей (2), четвертой (3, 4, 5) теории прочности

3. Скоробогатов, С.М. Катастрофы и живучесть железобетонных сооружений (классификация и элементы теории. - Екатеринбург: Ур. ГУПС. 2009. 512 с.

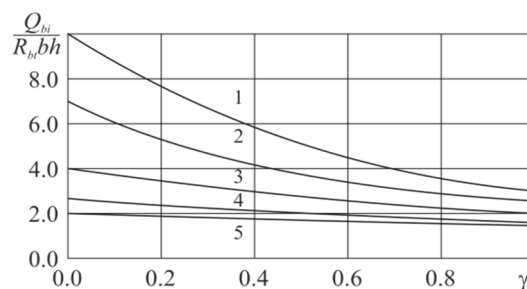


Рис. 15. Влияние коэффициента трения на поперечную силу при значениях  $C/h$ : 1 – 2; 2 – 1,5; 3 – 1,0; 4 – 0,5; 5 – 0,1

сти Кулона-Навье  $|\tau| + \gamma\sigma \leq R_{\sigma\tau}$ , тогда получаем:

$$Q \leq Q_{bu} = \phi_1 \frac{R_{bt} b h}{1 + \gamma \frac{c}{h}} \left[ 1 - \frac{a}{h} (1 - k_{xc}) \right] + R_{sw} A_{sw}(t), \quad (17)$$

где  $\gamma$  – коэффициент трения.

Анализ полученных функций показал, что изменение поперечной силы зависит от соотношения  $C/h$  и коэффициента трения  $\gamma$ .

Результаты, получаемые по первой теории прочности существенно отличаются от результатов, получаемых по третьей и четвертой теории прочности при соотношении  $C/h < 0,5$ . При соотношении  $C/h \approx 0,5$  все три проверяемые теории дают близкие по величине значения  $Q / R_{bt} b h$  (см. рис. 14, 15).

Если определять прочность бетона по формуле 9 и 10, то с помощью фрактальной размерности можно учесть влияние однородности структуры на прочность изделий.

#### Список источников

1. Чернышев, Е.М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломерантных строительных композитов. / Е.М. Чернышев, Е.И. Дьяченко, А.И. Макеев. - Воронеж. ГАСУ. – Воронеж, 2012. 224 с.
2. Соломатов, В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.П. Селяев. – Ташкент: ФАН, 1991. 345 с.

4. Селяев В.П., Селяев П.В. Физико – химические основы механики разрушения цементных композитов: - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. 220 с.

5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Изд-во Института компьютерных исследований. 2002. 656 с.

6. Садовский, М.А. О свойстве дискретности горных пород / М.А. Садовский, Л.Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко // Физика земли. 1982. N12. С.3-18.

7. Садовский М.А. Иерархии от пылинок до планет // Земля и Вселенная. 1984. N6.

8. Федоров Л.Н., Брук М.А. От естественной кусковатости в природе к модели разрушения горных пород // Записки горного института. 2007. Т. 171. С. 144-149.

9. Курленя, М.В. О масштабном факторе явления зональной дезинтеграции горных пород и канонических рядов атомно-ионных радиусов. / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. 1996. N12. С. 3-14.

10. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. - М.: Наука. 1991. 136 с.

11. Камарян Г.Г. Иерархия структурных и геодинамических характеристик земной коры. // Геология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2002. N6.

12. Кайдо И.И. Кластерная модель явления зональной дезинтеграции массива вокруг подземных выработок. 2009.

13. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Донец: Норд – Пресс. 2008.



14. Чанышев А.И., Белоусова О.Е. Блочнo-иерархическая модель деформирования и разрушения горных пород, экспериментальная проверка и теоретический анализ // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле: матер. докл. Всерос. конф. с междунар. участием. – М., 2016. С. 404-413.
15. Адушкин В.В. Особенности формирования материала заполнителя на характер сдвигового деформирования нарушения сплошности. // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2007. N3.
16. Гудман Р.А. Механика скальных пород. - М.: Стройиздат. 1987.
17. Чанышев А.Н., Ефименко Л.А. Математические модели блочных сред в задачах геомеханики. // ФТПРПИ. 2003. N3. С. 73-84.
18. Грэхэм Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика / пер. с англ. – М.: Мир. 1998. 703 с.
19. Новошилов В.В. Структурная макро-механика разрушения // ПММ. 1969. Т.33. N2.
20. Петров Ю.В. Квантовая аналогия в механике разрушения твердых тел // Физика твердого тела. Т. 38. N11. С. 3385-3393.
21. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2007. 260 с.
22. Куприяшкина Л.И. Наполненные цементные композиты. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2007. 180 с.
23. Фрактальная природа масштабного эффекта прочности бетона / В.П. Селяев [и др.] // Эксперт: теория и практика. 2020. № 4 (7). С. 53-59. DOI: 10.24411/2686-7818-2020-10036
24. Селяев В.П., Соломатов В.И., Ошкина Л.М. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2000. 152 с.
25. Селяев, В.П. Аналитическое описание диаграмм деформирования бетона для расчета прогибов пластин из нелинейного деформируемого материала / В.П. Селяев [и др.] // Строительство и реконструкция. 2018. N 3. С. 22-30.
26. Христианович С.А. О модуле сцепления в теории трещин. // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 1968. N2.

#### **Информация об авторах**

*В.П. Селяев - академик РААСН, доктор технических наук, профессор Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева;*

*П.В. Селяев - кандидат технических наук Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева;*

*Е.Е. Хамза - докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.*

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

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.



Original article

**FOUNDATIONS OF THE THEORY OF DEGRADATION  
AND PREDICTION OF THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES,  
TAKING INTO ACCOUNT THE FRACTAL STRUCTURE OF THE STRUCTURE**

**Vladimir Pavlovich Selyaev<sup>1</sup>, Pavel Vladimirovich Selyaev<sup>2</sup>, Yerlan Ergalievich Hamza<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva, Saransk, RF

<sup>3</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>1,2</sup> ntorm80@mail.ru

<sup>3</sup> erlan.hamza@mail.ru

**Annotation.** Based on the principles of fractal geometry by B. Mandelbrot and the theory of fracture by A. Griffiths, models are proposed to describe the process of degradation of reinforced concrete bending elements. An experimental substantiation of the fractal structure of the concrete structure has been carried out. It was found that fractal dimension is an objective characteristic of the degree of structure homogeneity. It has been experimentally established that in the process of loading concrete, the process of degradation of the structure develops, which is expressed in the successive destruction of fractals at various scale levels. An analytical relationship has been established between the strength of concrete in compression, tension and the coefficient of friction.

**Keywords:** concrete, degradation, strength, fractal, model

**For citation:** Selyaev V.P., Selyaev P.V., Khamza Y.E. Foundations of the theory of degradation and prediction of the durability of reinforced concrete structures, taking into account the fractal structure of the structure // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 23-36. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_23.

**Information about the authors**

V.P. Selyaev - Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva;

P.V. Selyaev - Candidate of Technical Sciences, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva;

Y.E. Khamza - doctoral student (erlan.hamza@mail.ru), Satbayev University.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.

Научная статья

УДК 691.175

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_37

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ НА КИНЕТИКУ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗЦОВ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Татьяна Анатольевна Низина<sup>1</sup>, Дмитрий Рудольфович Низин<sup>2</sup>, Надежда Сергеевна Канаева<sup>3</sup>,  
Диана Артуровна Климентьева<sup>4</sup>, Анастасия Александровна Порватова<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> 1Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

имени Н.П. Огарёва, Саранск, РФ

<sup>1, 2, 3</sup> НИИСФ РААСН, Москва, РФ

<sup>1</sup> nizinata@yandex.ru

<sup>2</sup> nizindi@yandex.ru

<sup>3</sup> anikhadya@yandex.ru

<sup>4</sup> klimenteva.diana2016@yandex.ru

<sup>5</sup> aska.porvatova@mail.ru

**Аннотация.** Представлены результаты анализа влияния влажностного состояния на физико-механические показатели эпоксидных полимеров. Выявлены различия в характере деформирования образцов исследуемых составов, получаемых на основе модифицированной смолы Этал-247, в зависимости от вида отвердителя. Изучено влияние влажностного состояния на кинетику накопления повреждений в структуре полимерных образцов под действием растягивающих нагрузок.

**Ключевые слова:** полимерные материалы, эпоксидные полимеры, климатическое старение, влаго-содержание, фрактальный анализ, накопление повреждений

**Благодарность:** работа выполнена в рамках реализации Плана фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России на 2021 год (№3.1.7.1 «Исследование механизмов формирования обратимых и необратимых изменений свойств полимерных материалов в процессе натурального климатического старения»).

**Для цитирования:** 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 (16). С. 37-13. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_37.

Полимерные материалы нашли широкое применение практически во всех существующих областях промышленности. По аналогии с другими материалами, основное требование, предъявляемое к изделиям и конструкциям на полимерной основе, заключается в обеспечении эксплуатационной надежности на протяжении всего срока

эксплуатации [1-3]. При этом, согласно данным, представленным в научной литературе, и авторским исследованиям [4-7], наблюдается значительный разброс упругопрочностных показателей полимерных образцов в зависимости от их влажностного состояния. Поэтому при исследовании эксплуатационной стойкости полимерных ма-



териалов, в том числе в условиях натурального климатического воздействия, требуется фиксация не только физико-механических показателей в текущий момент времени, а также оценка необратимых и обратимых изменений свойств, обусловленных процессами сорбции и десорбции атмосферной влаги. Дополнительный интерес представляет возможность количественной оценки кинетики накопления повреждений в структуре полимерных образцов под действием механических нагрузок и влажностного состояния.

В качестве объектов исследования выступали образцы двух составов полимерных материалов на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемых Этал-45М и Этал-45Т<sub>2</sub> производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Этал-247 представляет собой модифицированную эпоксидную смолу с массовой долей эпоксидных групп не менее 21,4÷22,8 % и вязкостью по Брукфильду при 25 °С в диапазоне 650÷750 СПз.

Отвердитель Этал-45М (ТУ-2257-045-18826195-01) является нетоксичным отвердителем, не вызывает аллергических реакций, не имеет неприятного запаха. Рекомендован к применению при: изготовлении антикоррозионных покрытий бетонных и металлических поверхностей (полы, кровля, опоры, емкости, трубопроводы), стойких к воздействию воды, кислот и щелочей; изготовлении стеклопластиковых изделий методом контактного формования; герметизации и изоляции изделий в электротехнической промышленности методом заливки и пропитки; изготовлении клеев и компаундов с повышенной устойчивостью к агрессивным средам (кислотам и щелочам).

Согласно информации от производителя, отвердитель Этал-45Т<sub>2</sub> предназначен для отверждения эпоксидных смол и компаундов на их основе при температуре от -7 до +45 °С при любой влажности и под водой. Этал-45Т<sub>2</sub> обеспечивает высокую адгезию и может использоваться в составе клеев и антикоррозионных составов для металла и

бетона. Данный отвердитель рекомендован к применению при изготовлении клеев и компаундов, устойчивых к перепадам температур от -4 до +60 °С, стойких к воздействию воды, кислот и щелочей.

Кондиционирование образцов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 12423-2013 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов». Для установления влияния влажностного состояния на изменение физико-механических показателей эпоксидных полимеров под действием натуральных климатических факторов, серия из 36 параллельно экспонированных образцов делилась на 3 равные партии, которые испытывались:

- сразу после снятия с испытательной площадки (серия «без кондиционирования»);

- после увлажнения при относительной влажности 98±2% до постоянной массы в соответствии с ГОСТ Р 56762-2015 «Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния» (серия «влагонасыщенные»);

- после сушки при 60 °С до постоянной массы в соответствии с ГОСТ Р 56762-2015 (серия «высушенные»).

Механические испытания образцов (тип 2 согласно ГОСТ 11262-2017) (ISO 527-2:2012) «Пластмассы. Метод испытания на растяжение») на растяжение проводились с помощью разрывной машины серии AGS-X с программным обеспечением TRAPEZIUM X при температуре 23±2 °С и относительной влажности воздуха 50±5%. Скорость перемещения зажимов испытательной разрывной машины составляла 2 мм/мин.

Определение количественных значений накопленных повреждений выполнено на основе авторской методики, позволяющей определять координаты критических точек кривых деформирования, выявляемых с помощью методов фрактального анализа [8-12]. Предложенная методика заключается в определении координат «критических» точек кривых деформирования, для

которых значения индексов фрактальности, рассчитываемых по предшествующим малым временным интервалам с помощью метода наименьшего покрытия, составляют менее 0,5. Исследовались временные интервалы продолжительностью 0,16 секунд со смещением анализируемой области с шагом 0,01 сек.

Для оценки уровня накопленных отказов, приводящих к разрушению образцов под действием растягивающих нагрузок, использовался показатель, определяемый как отношение числа точек с индексом фрактальности, меньшим 0,5, к общему числу точек кривых деформирования (до достижения «критических» уровней растягивающих напряжений). При этом для оценки поведения полимерных композитов в различном

влажностном состоянии под действием механических нагрузок производилась обработка данных всех образцов исследуемой серии.

Изменение массы контрольных образцов исследуемых составов после сушки и увлажнения по вышеуказанным режимам представлено в таблице 1. В зависимости от влажностного состояния образцов в процессе сушки и увлажнения до постоянной массы наблюдается соответственно снижение и прирост массы образцов исследуемых составов на  $0,79 \div 1,41\%$  и  $1,94 \div 3,51\%$ , соответственно. Наибольшее изменение массы образцов зафиксировано у полимера состава Этал-247/Этал-45TZ<sub>2</sub>. Разброс влагосодержания образцов данного состава достигает почти 5% по сравнению с полиме-

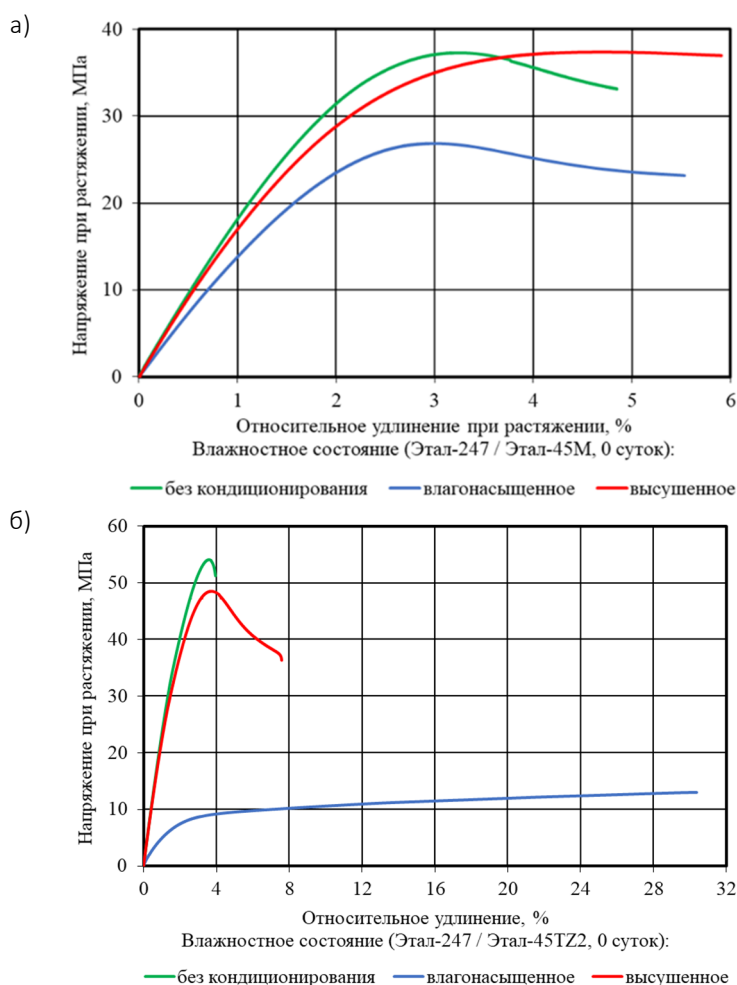


Рис. 1. Кривые деформирования «типичных» образцов серий полимерных составов в различных влажностных состояниях:

а – Этал-247/Этал-45М; б – Этал-247/Этал-45TZ<sub>2</sub>



ром Этал-247/Этал-45М, для которого аналогичный показатель равен 2,73%.

**Таблица 1 – Изменение массы (%) полимерных образцов исследуемых составов в процессе их сушки и влагонасыщения до постоянной массы**

Вид воздействия	Вид отвердителя	
	Этал-45М	Этал-45TZ <sub>2</sub>
влагонасыщение	1,94	3,51
сушка	-0,79	-1,41

Кривые деформирования «типичных» образцов исследуемых составов в различных влажностных состояниях представлены на рис. 1. По результатам проведенных исследований выявлено существенное различие во влиянии влагосодержания на изменение характера деформирования, а также упруго-прочностные показатели (табл. 2) образцов эпоксидных полимеров в зависимости от вида отвердителя. При определении упруго-прочностных показателей полимеров при растяжении и разрыве производилась оценка прироста напряжений в зависимости от уровня относительных деформаций с целью выявления точек начала резкого снижения данного показателя. Именно этот уровень относительных деформаций был принят при дальнейшем анализе как соответствующий достижению образцами «критических» напряжений, идентифицируемых как предельное напряжение при растяжении.

Установлено, что прочностные и деформативные характеристики исследуемых полимеров (предел прочности и модуль упругости при растяжении, относительное удлинение при максимальной нагрузке), находящихся в предельном влагонасыщенном состоянии, всегда ниже аналогичных показателей образцов в равновесно-влажностном и высушенном состояниях. Снижение предела прочности для образцов состава Этал-247/Этал-45М во влагонасыщенном состоянии составляет 28,4%. Для полимера, отверждаемого Этал-45TZ<sub>2</sub>, изменение влажности образцов с 1,41 до 4,92% приводит к снижению предела прочности

при растяжении с 53,30 до 8,95 МПа, что соответствует остаточной прочности всего 16,7% от контрольных значений. При этом деформативные характеристики влагонасыщенных образцов при разрыве повышаются в 6,7 раз, достигая относительных удлинений 67,5%. Столь значительные изменения упруго-прочностных показателей связаны с изменением характера поведения влагонасыщенных образцов под нагрузкой со стеклообразного на высокоэластическое.

**Таблица 2 – Изменение физико-механических показателей эпоксидных полимеров в зависимости от влажностного состояния образцов**

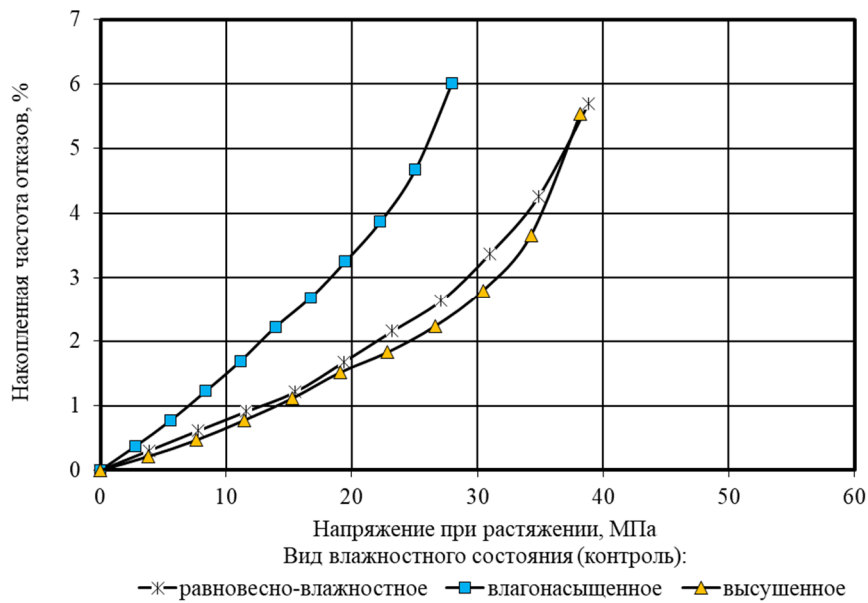
Исследуемая характеристика	Влажностное состояние		
	равновесно-влажностное	влагонасыщенное	высушенное
полимер Этал-247/Этал-45М			
Влажность образцов, % по массе	0,79	2,73	0
Предел прочности при растяжении, МПа	37,3	26,7 (-28,4%)	37,4 (0,3%)
Относительное удлинение при растяжении, %	3,30	2,97 (-10,0%)	4,18 (26,7%)
Предел прочности при разрыве, МПа	32,9	23,1 (-29,8%)	36,9 (12,2%)
Относительное удлинение при разрыве, %	5,08	5,69 (12,0%)	5,90 (16,1%)
Накопленная частота отказов, %	5,69	6,01	5,53
полимер Этал-247/Этал-45TZ <sub>2</sub>			
Влажность образцов, % по массе	1,41	4,92	0
Предел прочности при растяжении, МПа	53,5	8,9 (-83,4%)	48,2 (-9,9%)
Относительное удлинение при растяжении, %	3,63	3,18 (-12,4%)	3,54 (-2,5%)
Предел прочности при разрыве, МПа	47,1	12,7 (-37,1%)	36,7 (-22,1%)
Относительное удлинение при разрыве, %	3,97	29,92 (+653,7%)	5,70 (+43,6%)
Накопленная частота отказов, %	5,65	5,79	5,37

Удаление из структуры образцов состава Этал-247/Этал-45TZ<sub>2</sub> свободной влаги

приводит к снижению предела прочности и относительного удлинения при растяжении, соответственно, на 10 и 2,5%. При этом деформативность образцов полимера (до уровня максимальных напряжений), отверждаемого Этал-45М, повышается на 26,7% при практически неизменности прочностных показателей.

Кривые накопления отказов в зависимости от уровня прикладываемых напряжений и относительных удлинений при растяжении для контрольных образцов полимеров Этал-247/Этал-45М и Этал-247/Этал-45Т<sub>2</sub> в различном влажностном состоянии представлены, соответственно, на рис. 2 и 3. Числовые значения суммарных отказов,

а)



б)

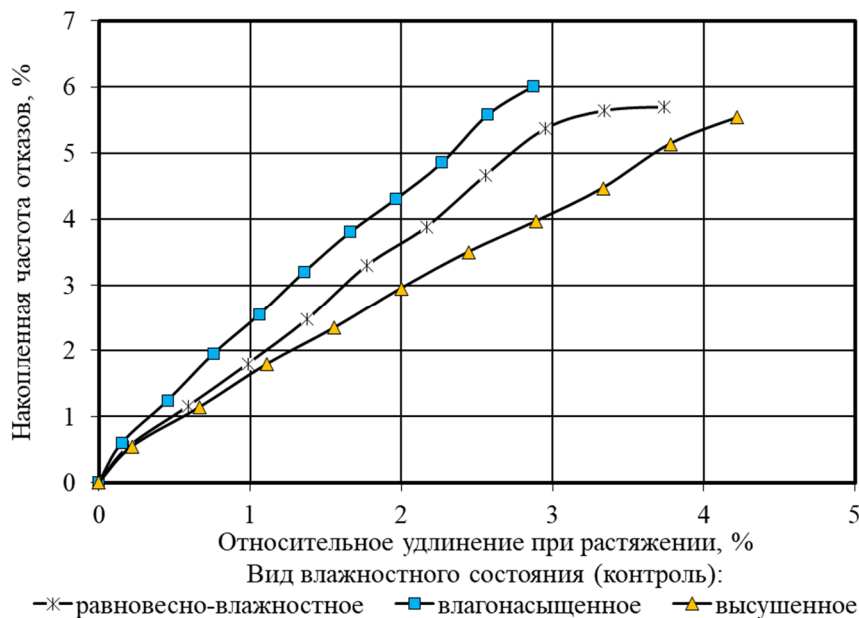


Рис. 2. Кривые накопления отказов серий полимерных образцов состава Этал-247+Этал-45М (до натурального экспонирования) в различных влажностных состояниях в зависимости от уровня прикладываемых напряжений (а) и относительных удлинений при растяжении (б)

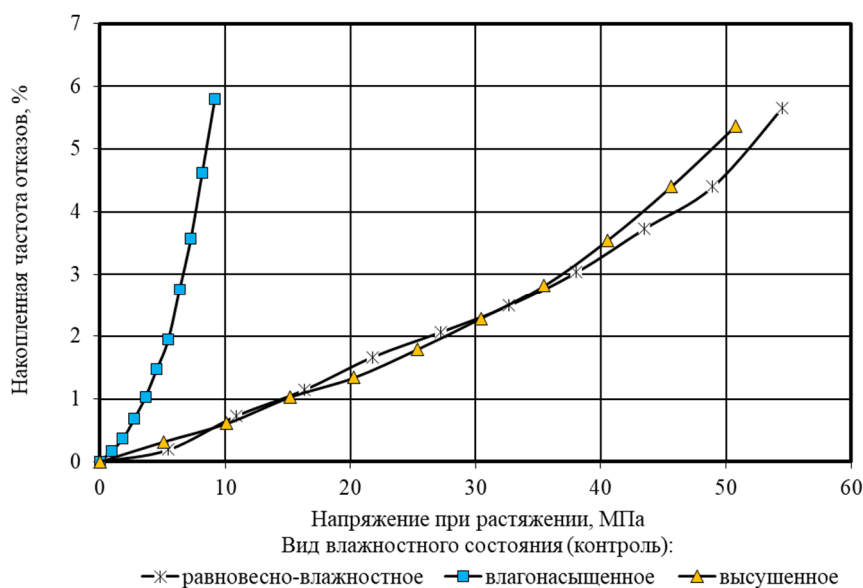


накопление которых соответствует достижению образцами максимальных растягивающих нагрузок, приведены в таблице 2. Выявлено, что предельный уровень накопленных повреждений для всех видов влажностного состояния образцов исследуемых полимеров варьируется в интервале от 5,37 до 6,01%.

По результатам проведенного анализа установлено (рис. 2 (а), 3(а)), что кривые накопления частоты отказов в зависи-

мости от уровня прикладываемого напряжения для образцов, находящихся в равновесно-влажностном или сухом состояниях, подобны. Влагонасыщение образцов приводит к значительному ускорению процесса в зависимости от уровня прикладываемых напряжений. Так, например, при  $\sigma_{\text{раст.}} = 20 \text{ МПа}$  накопленная частота отказов для влагонасыщенных образцов полимера Этал-247/Этал-45М достигает 3,7%, что почти в 1,7 и 1,9 раза превышает аналогичные

а)



б)

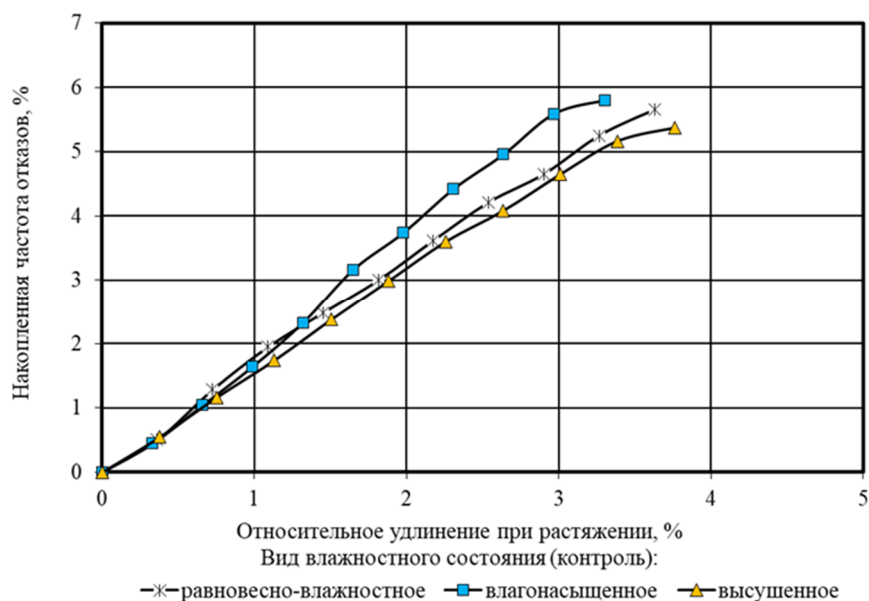


Рис. 3. Кривые накопления отказов серий полимерных образцов состава Этал-247+Этал-45Т<sub>2</sub> в различных влажностных состояниях в зависимости от уровня прикладываемых напряжений (а) и относительных удлинений при растяжении (б)



показатели для, соответственно, полимера в равновесно-влажностном (без кондиционирования) и высушенном состояниях.

Из анализа результатов исследований полимера Этал-247/Этал-45TZ<sub>2</sub> выявлено, что если частота накопления повреждений для влагонасыщенных образцов лишь незначительно ускоряется с повышением уровня относительного удлинения при растяжении (рис. 3, б), то в зависимости от уровня растягивающих напряжений происходит ускорение скорости накопления отказов по сравнению с образцами в равновесно-влажностном состоянии от 4,3 до 5,5 раз (рис. 3, а). В частности, 50% отказов от их общего числа, достижение которого приводит к разрушению образцов, достигается для влагонасыщенных образцов уже при напряжениях около 6,2 МПа. Аналогичный показатель для равновесно-влажностных и сухих образцов достигается при уровнях растягивающих напряжений соответственно 34,0 и 31,4 МПа.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что содержание сорбированной влаги представляет собой основной источник обратимых изменений упруго-прочностных показателей образцов полимерных материалов. Выявлено, что наиболее существенное влияние влажностного состояния образцов на их упруго-прочностные показатели проявляется для полимера Этал-247/Этал-45TZ<sub>2</sub>. Установлено, что повышение влагосодержания полимерного материала до 4,92% сопровождается формированием ярко выраженного этапа вынужденных высокоэластических деформаций с повышением относительного удлинения при разрыве и снижением предела прочности при растяжении, соответственно, в 6,7 и 6,0 раз. При предельном влагонасыщении происходит ускорение скорости накопления отказов с повышением уровня прикладываемого напряжения при растяжении по сравнению с образцами в равновесно-влажностном состоянии в 4,3-5,5 раз.

#### Список источников

1. Селяев, В.П. Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций / В.П. Селяев [и др.] - Саранск: Изд-во СВМО, 2010. 224 с.
2. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны: монография. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2016. 284 с.
3. Старцев В.О. Методы исследования старения полимерных связующих // Елеи. Герметики. Технологии. 2020. №9. С. 16–26.
4. Старцев В.О., Низина Т.А. Обратимое воздействие влаги на механические свойства эпоксидных полимеров при климатическом старении // Фундаментальные исследования и последние достижения в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и сложных технических систем в различных климатических условиях. ФГУП ВИАМ, 2016. URL: <https://conf.viam.ru/conf/194/proceedings>.
5. Startsev V.O., Lebedev M.P., Khrulev K.A., Molokov M.V., Frolov A.S., Nizina T.A. Effect of outdoor exposure on the moisture diffusion and mechanical properties of epoxy polymers // Polymer testing. 2018. T. 65. С. 281-296.
6. Старцев В.О., Плотников В.И., Антипов Ю.В. Обратимые эффекты влияния влаги при определении механических свойств ПКМ при климатических воздействиях // Труды ВИАМ. 2018. №5. С. 110–118.
7. Селяев, В.П. Анализ пластифицирующего воздействия влаги на климатическую стойкость эпоксидных полимеров, модифицированных алифатическим разбавителем Этал-1 / В.П. Селяев [и др.] // Вестник Приволжского территориального отделения РААСН. Вып. 21. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. С. 200–205.
8. Nizina T.A., Kanaeva N.S., Nizin D.R. The effect of moisture state on kinetics of damage accumulation in the structure of epoxy polymer samples under tensile stresses // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 208–214.
9. Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S., Kuznetsov N.M., Artamonov D.A. Applying the Fractal Analysis Methods for the Study of the Mechanisms of Deformation and Destruction of Polymeric Material Samples Affected by Tensile Stresses // Key engineering materials. 2019. Vol. 799. Pp. 217–223.
10. Nizina T.A., Selyaev V.P., Nizin D.R., Artamonov D.A., Kanaeva N.S. Fractal analysis of de-



formation curves of epoxy polymers under tension // Polymers in construction. 2019. Vol. 1. Pp. 48–57.

11. Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S. Statistical Analysis of the Frequency of Damage Accumulation in the Structure of Epoxy Composites Un-

der Tensile Loads // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Pp. 1–8.

12. Низина Т.А. Количественный анализ кинетики накопления повреждений в структуре полимерных материалов при растяжении / Т.А. Низина [и др.] // Строительство и реконструкция. 2020. №2. С. 77–89.

### Информация об авторах

Т.А. Низина - доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, НИИСФ РААСН;

Д.Р. Низин – кандидат технических наук, инженер, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, НИИСФ РААСН;

Н.С. Канаева – аспирант, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, НИИСФ РААСН;

Д.А. Климентьева – магистрант 2 года обучения, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва;

А.А. Порватова – магистрант 1 года обучения, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва.

*Вклад авторов:* все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 15.01.2022; принята к публикации 15.01.2022.

Original article

## INFLUENCE OF THE HUMIDITY STATE ON THE KINETICS OF DAMAGE ACCUMULATION IN THE STRUCTURE OF EPOXY POLYMER SAMPLES UNDER THE ACTION OF TENSILE STRESSES

Tatyana Anatolyevna Nizina<sup>1</sup>, Dmitry Rudolfovich Nizin<sup>2</sup>, Nadezhda Sergeevna Kanaeva<sup>3</sup>, Diana Arturovna Klimentyeva<sup>4</sup>, Anastasia Alexandrovna Porvatova<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova, Saransk, Russian Federation

<sup>1, 2, 3</sup> Research Institute of Construction Physics RAACS, Moscow, RF

<sup>1</sup> nizinata@yandex.ru

<sup>2</sup> nizindi@yandex.ru

<sup>3</sup> aniknadya@yandex.ru

<sup>4</sup> klimenteva.diana2016@yandex.ru

<sup>5</sup> aska.porvatova@mail.ru

**Annotation.** The results of the analysis of the influence of the moisture state on the physical and mechanical properties of epoxy polymers are presented. Differences in the nature of the deformation of the samples of the studied compositions obtained on the basis of the modified Etal-247 resin, depending on the type of hardener, were revealed. The influence of the moisture state on the kinetics of damage accumulation in the structure of polymer samples under the action of tensile loads has been studied.



**Keywords:** polymer materials, epoxy polymers, climatic aging, moisture content, fractal analysis, damage accumulation

**Acknowledgments:** the work was carried out as part of the implementation of the Plan of Fundamental scientific research of the RAASN and the Ministry of Construction of Russia for 2021 (No. 3.1.7.1 "Study of the mechanisms of formation of reversible and irreversible changes in the properties of polymer materials in the process of natural climatic aging").

**For citation:** Influence of the humidity state on the kinetics of damage accumulation in the structure of epoxy polymer samples under the action of tensile stresses / T.A. Nizina, D.R. Nizin, N.S. Kanaeva, D.A. Klimentyeva, A.A. Porvatova // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 37-45. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_37.

#### **Information about the authors**

*T.A. Nizina* - Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova, Research Institute of Construction Physics RAACS;

*D.R. Nizin* – candidate of technical sciences, engineer, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova, Research Institute of Construction Physics RAACS;

*N.S. Kanaeva* – PhD student, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova, Research Institute of Construction Physics RAACS;

*D.A. Klimentyeva* – graduate student, 2nd year of study, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova;

*A.A. Porvatova* – graduate student, 1st year of study, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.



Научная статья

УДК 539.3

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_46

## ВЛИЯНИЕ ВИДА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ « $\sigma - \epsilon$ » НА РАСЧЕТНЫЕ ПРОГИБЫ БАЛКИ ИЗ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА

Владимир Павлович Селяев<sup>1</sup>, Сергей Юрьевич Грязнов<sup>2</sup>,  
Евгения Сергеевна Безрукова<sup>3</sup>, Дельмира Рафиковна Бабушкина<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Саранск, РФ

<sup>1</sup> ntorm80@mail.ru

<sup>2</sup> sergey.gryaznov.97@mail.ru

<sup>3</sup> eugenia.bezr@gmail.com

<sup>4</sup> delmira2009@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приводятся результаты расчетов прогибов балок из цементного и полимерного бетонов методом последовательных нагружений (МПН). Выполнен анализ влияния аналитических функциональных зависимостей, описывающих экспериментальные диаграммы деформирования материалов, на расчетные прогибы балок. Предложен алгоритм расчета, при совместном применении методов последовательного нагружения (МПН) и конечных разностей (МКР), позволяющий учитывать экспериментальные нелинейные диаграммы деформирования, успешно описываемые комбинированными степенными зависимостями.

**Ключевые слова:** нелинейность, деформирование, аппроксимация, балка, прогиб, метод последовательных нагружений, метод конечных разностей

**Для цитирования:** Влияние вида функциональной зависимости « $\sigma - \epsilon$ » на расчетные прогибы балки из нелинейно деформируемого материала / В.П. Селяев, С.Ю. Грязнов, Е.С. Безрукова, Д.Р. Бабушкина // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 46-54. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_46.

### Введение

Нелинейный расчет строительных конструкций является важной и сложной научно-технической задачей. Учет различных видов нелинейностей позволяет осуществлять построение адекватных расчетных схем, выявлять дополнительные резервы несущей способности, снижать материалоемкость, обеспечивать конструктивную безопасность и осуществлять моделирование процессов жизненного цикла. Особого внимания заслуживают исследования, описывающие влияние физической и геометрической нелинейностей материала на НДС [1-5].

Предложено несколько десятков функций, описывающих зависимость между напряжениями и деформациями бетона при сжатии или растяжении [6-9]. В основу их верификации заложены принципы соответствия числовых значений диаграмм деформирования, полученных экспериментально, и с помощью аппроксимирующих функций. Подбор последних можно выполнять методом нормируемых показателей [10-13].

Нормируемые показатели определяются неразрушающими методами в любой заданной точке конструкции путем вдавливания индентора в материал [14], следова-

тельно, существует возможность описать работу конструкций в любой момент времени с учетом реальных условий эксплуатации.

Анализ показал, что не все аналитические зависимости, применяемые для аппроксимации экспериментальных диаграмм деформирования, адекватно отражают работу материала под нагрузкой, в ряде случаев наблюдаются расхождения при определении прогибов конструкций [15].

Цель данной работы заключается в оценке влияния различных функциональных зависимостей, описывающих экспериментальные диаграммы деформирования « $\sigma - \varepsilon$ », на расчетные прогибы балки, работающей в нелинейно-упругой стадии.

### Материалы и методы

Для решения поставленной задачи рассмотрим однопролетную, шарнирно опертую балку длиной  $l = 10$  м с постоянным по длине сечением  $b \times h =$

$= 0,3 \times 0,4$  м из нелинейно-упругого материала, загруженную по всей длине равномерно-распределенной нагрузкой  $q_{расч}$  (рис. 1), величина и способ нагружения которой будут даны ниже.

Выполним 2 варианта конструирования [12, 16-17]: в первом случае материал балки – цементный бетон с начальным модулем упругости  $E_b = 2,1 \cdot 10^4$  МПа и предельными относительными деформациями  $\varepsilon_{bu} = 0,002$ ; во втором случае – полимербетон с начальным модулем упругости  $E_b = 28737,39$  МПа и предельными деформациями  $\varepsilon_{bu} = 0,005$ . Диаграммы деформирования материалов представлены на рисунке 2.

А.Р. Ржаницыным и П.А. Лукашем предложено зависимость  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$  представлять в виде комбинированной степенной функции 3-ей степени:

$$\sigma_i = \alpha \cdot \varepsilon_i - \beta_j \cdot \varepsilon_i^3. \quad (1)$$

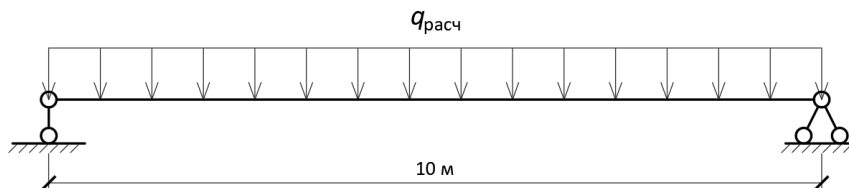


Рис. 1. Расчетная схема балки

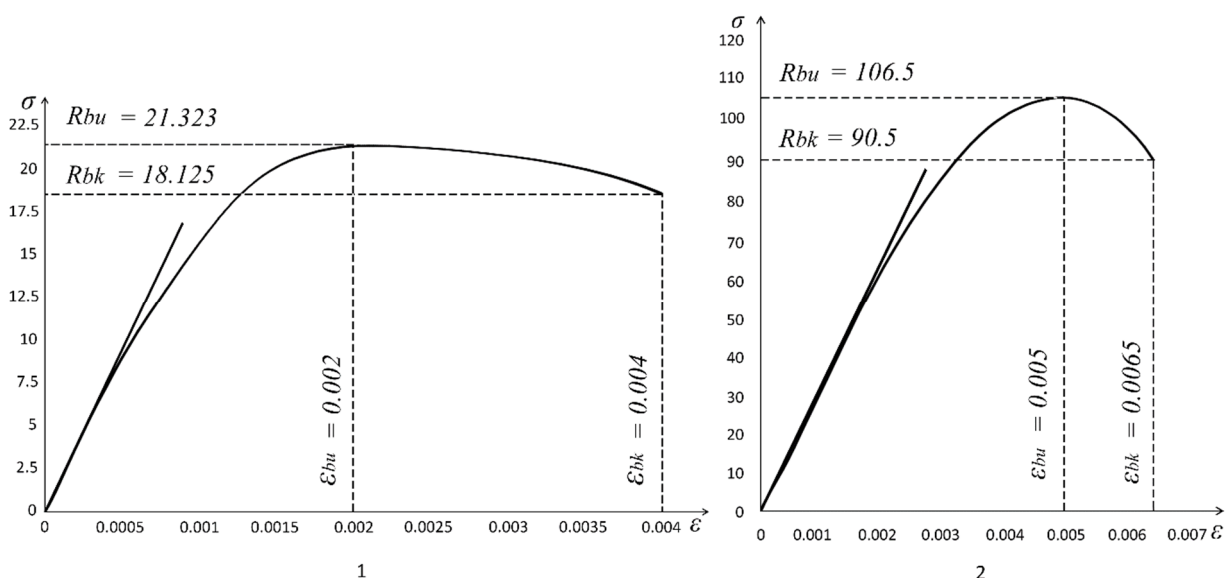


Рис. 2. Экспериментальные диаграммы деформирования:

1 – цементного бетона; 2 – полимербетона



Данная зависимость хорошо отражает работу цементных бетонов под нагрузкой, однако для полимербетона ее применять не рекомендуется. Поэтому, для аппроксимации диаграмм деформирования полимербетона, в работе [10] дополнительно исследовалась комбинированная степенная зависимость 5-ой степени:

$$\sigma_i = \alpha \cdot \varepsilon_i - \beta_j \cdot \varepsilon_i^5. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) параметры аппроксимации  $\alpha$  и  $\beta_j$  определялись из условия соответствия данных функций граничным условиям, нормируемым соответствующими показателями [7], по формулам:  $\alpha = E_b$ ;  $\beta_1 = \frac{E_b}{n\varepsilon_{bu}^{n-1}}$ ;  $\beta_2 = (E_b - E_{bu})/\varepsilon_{bu}^{n-1}$ . Здесь  $n$  – показатель степени для конкретной функции.

Тогда, для функций (1) и (2) касательный модуль, необходимый в дальнейших расчетах можно определить по формуле:

$$E_{\kappa,i} = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = \alpha - n \cdot \beta_j \cdot \varepsilon_i^{n-1}. \quad (3)$$

Было установлено [18], что коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  по-разному влияют на точность аппроксимации экспериментальных зави-

В.Н. Байковым предложено зависимость  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$  представлять в виде функции полинома 5-ой степени [11, 13]:

$$\sigma_i = A \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}\right) + B \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}\right)^2 + C \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}\right)^3 + D \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}\right)^4 + F \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}\right)^5. \quad (4)$$

При этом, касательный модуль для функции (4) примет вид:

$$E_{\kappa,i} = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = A \cdot \frac{1}{\varepsilon_{bu}} + B \cdot \frac{2\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}^2} + C \cdot \frac{3\varepsilon_i^2}{\varepsilon_{bu}^3} + D \cdot \frac{4\varepsilon_i^3}{\varepsilon_{bu}^4} + F \cdot \frac{5\varepsilon_i^4}{\varepsilon_{bu}^5}. \quad (5)$$

В работах [11, 13] предполагается, что зависимость (4) также должна соответствовать граничным условиям, нормируемым соответствующими показателями, которые дают возможность определить коэффициенты  $A - F$ .

Постоянные коэффициенты аппроксимации  $\alpha, \beta_1, \beta_2, A, B, C, D, F$  для выбранных выше материалов (рис. 2) представлены в таблице.

Используя формулы (1 – 5) и данные таблицы, представим графически зависимо-

Постоянные коэффициенты аппроксимирующих функций (1, 2 и 4)

Постоянный коэффициент	Материал					
	Цементный бетон			Полимербетон		
	Функция					
	(1)	(2)	(4)	(1)	(2)	(4)
1	2	3	4	5	6	7
$\alpha$ , МПа	$2,1 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	-	$2,87 \cdot 10^4$	$2,87 \cdot 10^4$	-
$\beta_1$ , МПа	$1,72 \cdot 10^9$	$2,63 \cdot 10^{14}$	-	$3,83 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	-
$\beta_2$ , МПа	$2,58 \cdot 10^9$	$6,46 \cdot 10^{14}$	-	$2,97 \cdot 10^8$	$1,19 \cdot 10^{13}$	-
$A$ , МПа	-	-	42,00	-	-	143,69
$B$ , МПа	-	-	-6,51	-	-	-5,17
$C$ , МПа	-	-	-32,01	-	-	38,19
$D$ , МПа	-	-	22,18	-	-	-103,10
$F$ , МПа	-	-	-4,33	-	-	32,90

симостей  $\sigma_i - \varepsilon_i$  и  $E_{\kappa,i} - \varepsilon_i$ , а именно, первый дает более реальные картины изменений диаграмм касательного  $E_{\kappa,i}$  модуля, а второй – изменение диаграммы напряжения  $\sigma_i$ . В рассматриваемой задаче применялись оба этих коэффициента с целью выявления различий в значениях прогибов.

сти напряжений и касательного модуля от деформаций для цементного и полимерного бетонов (рис. 3 – 4 соответственно).

Из анализа графиков (рис. 3 и 4) можно сделать однозначный вывод, что функция (4) достаточно точно аппроксимируют зависимость  $\sigma_i - \varepsilon_i$  как для цемент-

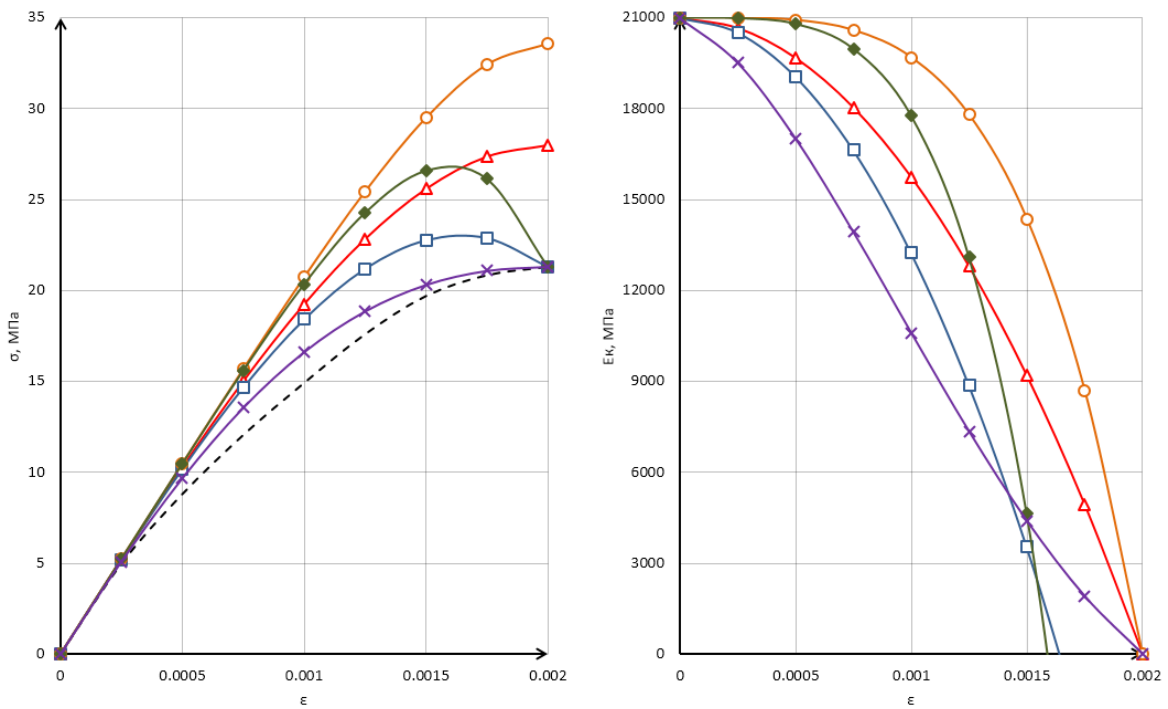


Рис. 3. Аппроксимация экспериментальной диаграммы деформирования и зависимость касательного модуля от деформаций для цементного бетона:  
1 – экспериментальные данные; 2 – функция 1 ( $\beta_1$ );  
3 – функция 1 ( $\beta_2$ ); 4 – функция 2 ( $\beta_1$ ); 5 – функция 2 ( $\beta_2$ ); 6 – функция 4

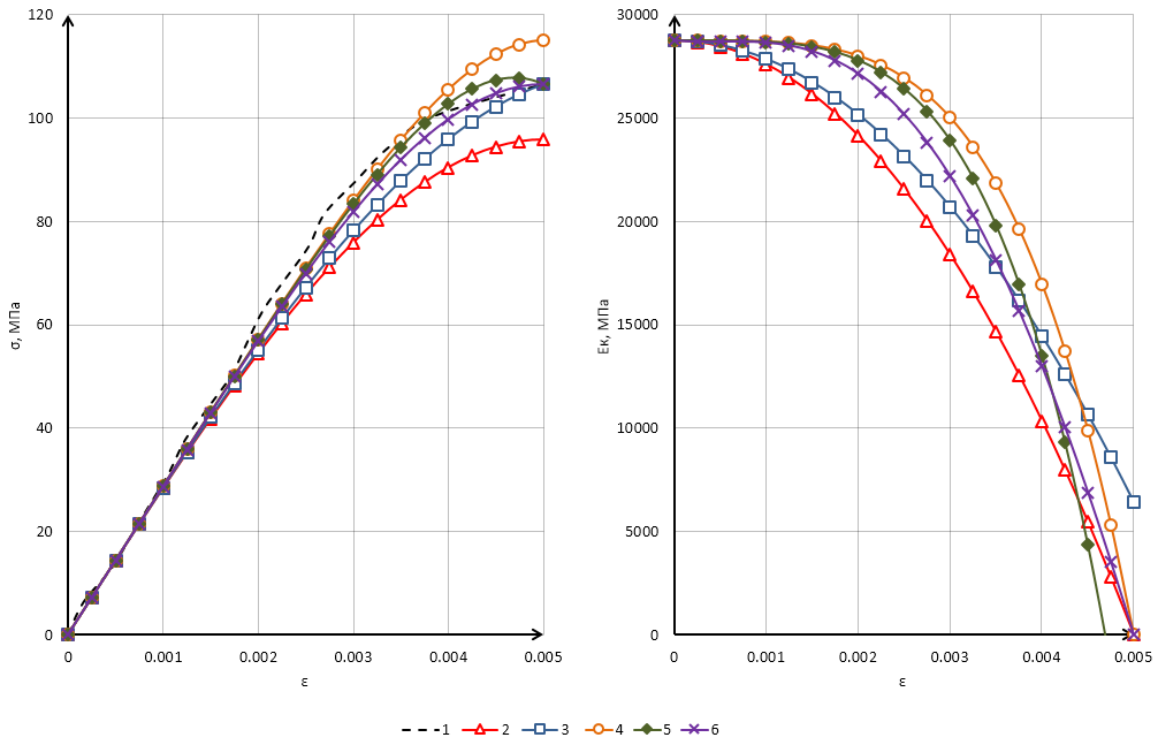


Рис. 4. Аппроксимация экспериментальной диаграммы деформирования и зависимость касательного модуля от деформаций для полимербетона:  
1 – экспериментальные данные; 2 – функция 1 ( $\beta_1$ );  
3 – функция 1 ( $\beta_2$ ); 4 – функция 2 ( $\beta_1$ ); 5 – функция 2 ( $\beta_2$ ); 6 – функция 4



ного бетона, так и для полимербетона, однако, зависимость  $E_{к,i} - \varepsilon_i$  для цементного бетона данная функция отражает неправильно. Следовательно, при определении прогибов балки из цементного бетона наиболее реалистичные данные должны быть получены при использовании функции (2) – 4 кривая на графике (рис. 3).

Поставленная задача была решена методом последовательных нагружений [12].

### Результаты и обсуждение

Метод последовательных нагружений (МНП) относится к инкрементальным методам, позволяющим моделировать процесс поэтапного нагружения твердого тела малыми ступенями  $\Delta q_j$  внешней нагрузки. При этом расчетная нагрузка  $q_{расч}$  разбивается на слои и представляется в виде суммы нагрузок, которыми последовательно нагружается рассматриваемая конструкция:

$$q_{расч} = \sum_{j=1}^n \Delta q_j. \quad (6)$$

В пределах каждого слоя нагружения  $\Delta q_j$  решение исходной нелинейной задачи заменяется на решение линейной задачи с известными начальными перемещениями и напряжениями [12]. При решении задачи в пределах ступени нагружения  $\Delta q_j$  не учитывается изменение переменной жесткости, в результате этого допускается погрешность линеаризации, которая может быть минимизирована при уменьшении величины ступени нагружения. Очевидно, что с увеличением дискретизации существенно возрастает время расчета. Кроме того, значительная трудоемкость не подразумевает ручного выполнения всех вычислений.

В данной работе МПН был автоматизирован в программе Microsoft Excel 2010. Алгоритм решения выглядит следующим образом:

1. Расчетная нагрузка делится на отдельные ступени – формула (6).

2. Для балки назначается постоянная по длине жесткость –  $J_0 = E_b I_0$ .

3. Прикладывается первая ступень нагружения –  $\Delta q_1$ .

4. Определяется прогиб  $\Delta w_1$  в каждом рассматриваемом сечении балки. Ввиду малости величины  $\Delta q_1$  деформации, вызываемые прогибом, будут упругими, и соответствующие ей прогибы можно определить из обычного линейного уравнения изгиба балки:

$$J_0 \frac{d^4 \Delta w_1}{dx^4} = \Delta q_1, \quad (7)$$

где  $J_0$  – постоянная жесткость изгиба балки. Уравнение (7) в конечно-разностном виде, относительно неизвестного приращения прогиба в рассматриваемом сечении, запишется следующим образом:

$$\Delta w_{1,i} = \frac{\Delta q_{1,i} \cdot \frac{(\Delta x)^4}{J_0} - \Delta w_{1,i-2} + 4\Delta w_{1,i-1} + 4\Delta w_{2,i+1} - \Delta w_{1,i+2}}{6}, \quad (8)$$

где  $i$  – номер сечения;  $\Delta q_{1,i}^*$  – узловая нагрузка в  $i$ -ом сечении;  $(\Delta x)^4$  – шаг разбиения балки по длине.

Решение СЛАУ (8) предполагает итерационный процесс вычисления. Данная задача была решена при помощи встроенного итерационного процессора в Microsoft Excel 2010. Выполнялось максимальное число итераций 32767 с точность вычисления  $1 \cdot 10^{-6}$ .

1. Определяется суммарный прогиб –  $W_1 = W_0 + \Delta w_1$  в каждом сечении после первой ступени нагружения.  $W_0 = 0$  – начальный прогиб отсутствует.

2. С учетом  $W_1$  пересчитываются жесткости в каждом сечении  $J_1$ , а также определяются их первые и вторые производные в конечно-разностном варианте  $J_1', J_1''$ .

3. Прикладывается вторая ступень нагружения –  $\Delta q_2$ . Соответствующий этой нагрузке прогиб находим из линейного уравнения:

$$J_1(x) \frac{d^4 \Delta w_2}{dx^4} + 2J_1'(x) \frac{d^3 \Delta w_2}{dx^3} + J_1''(x) \frac{d^2 \Delta w_2}{dx^2} = \Delta q_2. \quad (9)$$

После ряда преобразований, уравнение (9) так же представляется в конечно-

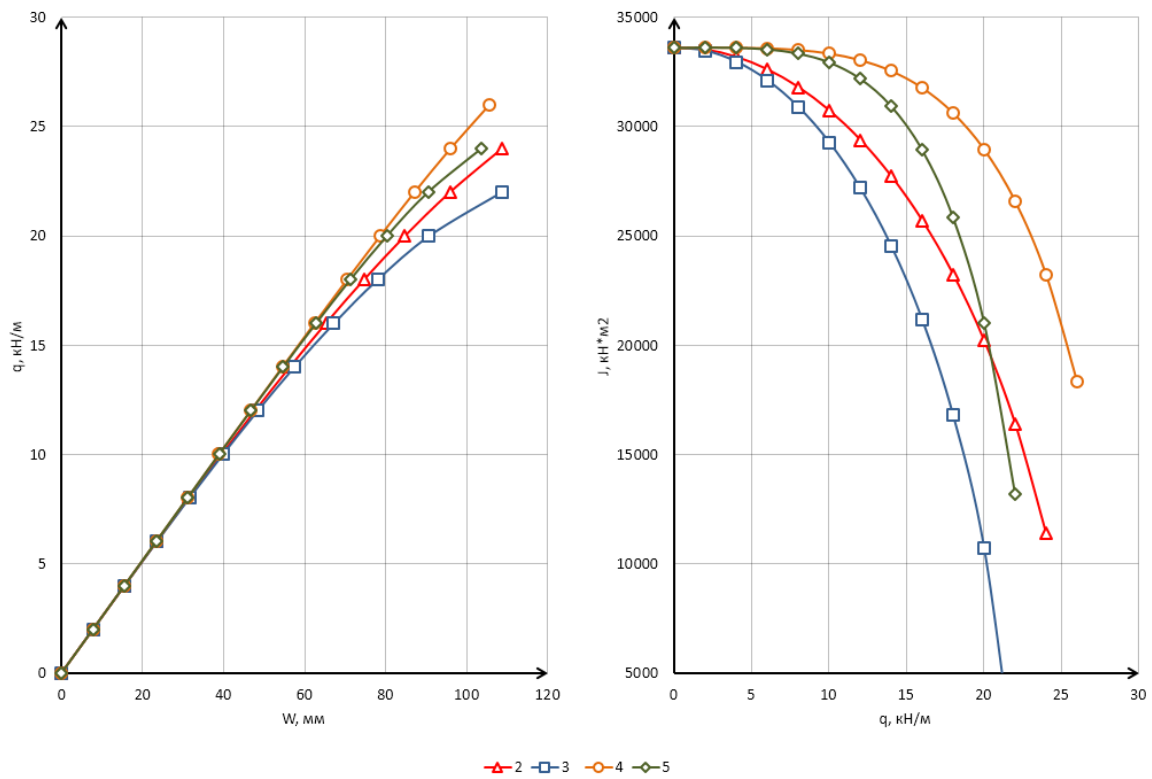


Рис. 5. Зависимости изменения прогибов  $W$  (слева) и жесткостей  $J$  (справа) по мере нагружения балки из цементного бетона от вида аппроксимирующей функции:  
2 – функция 1 ( $\beta_1$ ); 3 – функция 1 ( $\beta_2$ ); 4 – функция 2 ( $\beta_1$ ); 5 – функция 2 ( $\beta_2$ )

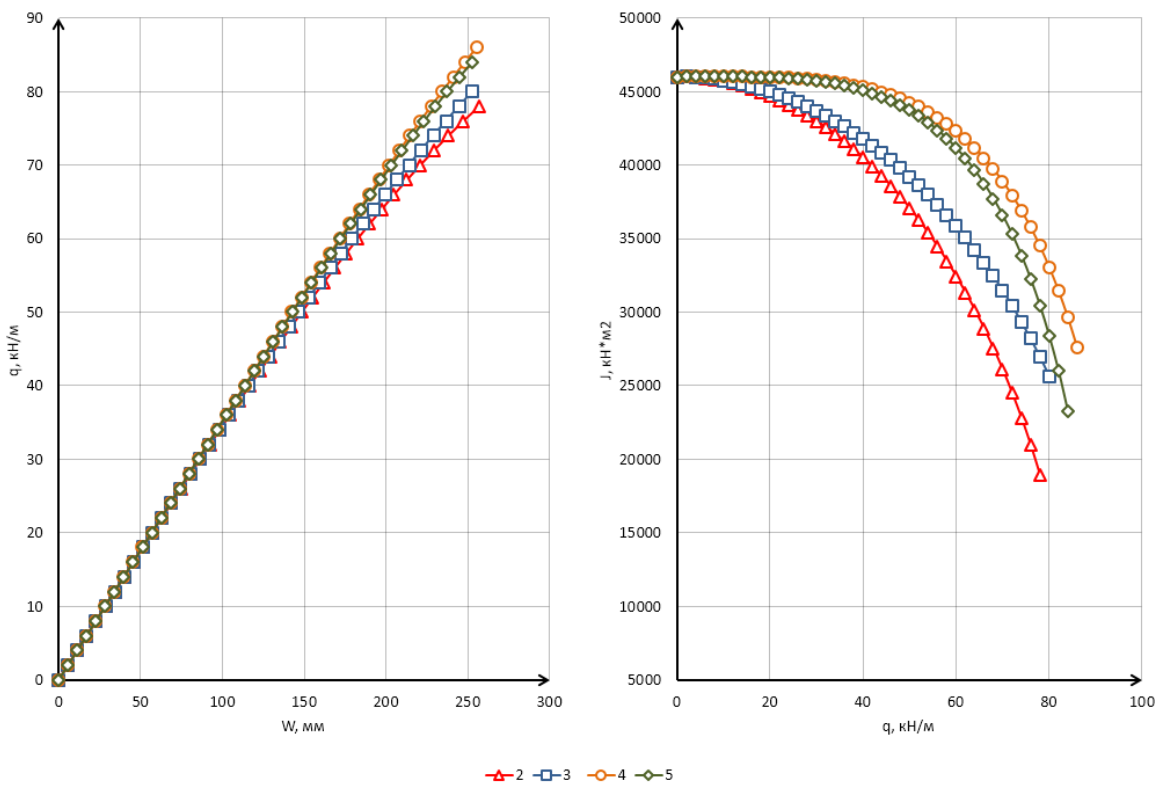


Рис. 6. Зависимости изменения прогибов  $W$  (слева) и жесткостей  $J$  (справа) по мере нагружения балки из полимерного бетона от вида аппроксимирующей функции:  
2 – функция 1 ( $\beta_1$ ); 3 – функция 1 ( $\beta_2$ ); 4 – функция 2 ( $\beta_1$ ); 5 – функция 2 ( $\beta_2$ )



разностном варианте относительно неизвестного приращения прогиба в рассматриваемом сечении  $\Delta w_{2,i}$ . После этого решается СЛАУ по вышеизложенному в п. 4 принципу.

1. Определяется суммарный прогиб –  $W_2 = W_1 + \Delta w_2$  в каждом сечении после второй ступени нагружения.

2. С учетом  $W_2$  пересчитываются жесткости в каждом сечении  $J_2$ , а также определяются их первые и вторые производные в конечно-разностном варианте  $J'_2, J''_2$ .

3. Далее последовательно прикладываются ступени нагружения  $\Delta q_3, \Delta q_4, \dots, \Delta q_n$ . Цикл повторяется.

Таким образом, нелинейная зависимость между прогибом балки и нагрузкой получается в виде ломаной. Точность решения зависит от малости величины нагрузки на этапе нагружения. В данных расчетах ступени нагружения составляли 2 кН/м, конструкция нагружалась до 95-100% от разрушающей нагрузки. На каждом этапе нагружения фиксировались изменения прогибов  $W$  и жесткостей  $J$ .

На рисунках 5 и 6 представлены графики результатов расчетов балок из цементного и полимерного бетонов соответственно.

Важно отметить, что изменение касательного модуля (5) функции (4) является асимметричным относительно середины сечения. Именно отсутствие симметрии при растяжении-сжатии является основным ограничивающим фактором степенных функций с четными показателями степени при расчетах конструкций на изгиб. Данная проблема так же была определена в работе [18] для функции Ф.И. Герстнера –  $\sigma_i = \alpha \cdot \varepsilon_i - \beta_j \cdot \varepsilon_i^2$ .

### Выводы

Анализ результатов расчетов, представленных на графиках, позволяет сделать следующие выводы:

1. При заданных геометрических параметрах и прикладываемых нагрузках, балки работают в основном в линейно-упругой стадии – до 50-70% от предельной нагрузки. Согласно СП 20.13330.2016, для балок пролетом 10 м предельный прогиб  $W_{ult}$  по второй группе предельных состояний составляет – 47,8 мм. Следовательно, предельное состояние наступает до нелинейного участка деформирования. Таким образом, можно сказать, что принятые конструктивные решения не являются оптимальными – требуется оптимизация.

2. Исследованные в данной работе функциональные зависимости, описывающие экспериментальные диаграммы деформирования, дают отклонения при определении прогибов балок на этапах нагружения от 50% расчетной нагрузки. При этом ведущим параметром является точность аппроксимации касательных модулей, от которых зависит переменная по длине балки жесткость.

3. Предложенный алгоритм расчета балок, при совместном применении методов последовательного нагружения (МПН) и конечных разностей (МКР), позволяет учитывать экспериментальные нелинейные диаграммы деформирования, успешно описываемые комбинированными степенными зависимостями (1) и (2). Это в конечном итоге позволяет своевременно выявлять недостатки и принимать наиболее экономичные конструктивные решения на ранних этапах проектирования.

### Список источников

1. Городецкий, А.С. Учет нелинейной работы железобетона в ПК ЛИРА-САПР. Метод «Инженерная нелинейность» / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2016. № 2(12). С. 92-98.

2. Нелинейность в ЛИРА-САПР. Алгоритмы создания расчетных моделей с учетом нелинейной работы конструкций [Электронный ресурс]: (дата обращения: 04.05.21.). URL:



[https://help.liraland.ru/984/3426/?sphrase\\_id=14578411](https://help.liraland.ru/984/3426/?sphrase_id=14578411).

3. Блохина, Н.С. Моделирование физически нелинейных и анизотропных свойств материала при расчете строительных конструкций в программном комплексе ANSYS / Н.С. Блохина, С.Н. Назаренко // Инновации и инвестиции. 2018. № 1. С. 186-188.

4. Проблема учета физической нелинейности при расчете строительных конструкций / Н.С. Блохина // Вестник МГСУ. 2011. № 6. С. 384-387.

5. Сухов, М.Ф. Нелинейные задачи строительной механики : учеб. пособие / М.Ф. Сухов, Д.А. Кожанов – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. 66 с.

6. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. – М.: Стройиздат, 1978. 202 с.

7. Ржаницын А.Р. Строительная механика: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1982. 400 с.

8. Мурашкин, Г.В. Моделирование диаграммы деформирования бетона / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин // Известия Орловского государственного технического ун-та. Сер. Строительство. Транспорт. 2007. № 3(15). С. 86-88.

9. Селяев, В.П. Аналитическое описание диаграмм деформирования бетонов при сжатии / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 3. С. 22-30.

10. Селяев, В.П. Верификация зависимостей, аппроксимирующих диаграммы деформирования бетонов цементного и полимерного методом нормируемых показателей / В.П. Селяев [и др.] // Строительство и реконструкция. 2021. № 1(93). С. 125-133.

11. Селяев, В.П. Анализ полиномиальной зависимости пятой степени при аппроксимации

экспериментальных диаграмм деформирования цементного бетона и полимербетона методом нормируемых показателей / В.П. Селяев, С.Ю. Грязнов, Д.Р. Бабушкина // Вестник ПГТУ. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 1(17). С. 19-27.

12. Петров В.В., Кривошеин И.В. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала. – М.: АСВ, 2008. 208 с.

13. Байков, В.Н. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей / В.Н. Байков, С.В. Горбатов, З.А. Дмитриев // Известия вузов. Серия: Строительство и архитектура. 1997. № 10. С. 4-6.

14. Селяев В.П., Селяев П.В. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов: монография. – Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2018. 220 с.

15. Селяев, В.П. Влияние вида функциональной зависимости « $\sigma - \epsilon$ » на расчетные прогибы пластины / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 2(35). С. 17-25.

16. Чебаненко, А.И. Армополимербетонные строительные конструкции. – М.: Стройиздат, 1988. 440 с.

17. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. 413 с.

18. Селяев, В.П. Определение прогибов балки из нелинейно-упругого материала методом Ритца-Тимошенко при аппроксимации диаграмм деформирования комбинированными степенными зависимостями / В.П. Селяев [и др.] // Эксперт: теория и практика. 2021. № 2(11). С. 42-50.

### **Информация об авторах**

*В.П. Селяев* – академик РААСН, доктор технических наук, профессор Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва;

*С.Ю. Грязнов* – аспирант Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва;

*Е.С. Безрукова* – аспирант Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва;

*Д.Р. Бабушкина* – аспирант Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва.

*Вклад авторов:* все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.



Original article

INFLUENCE OF THE TYPE OF FUNCTIONAL DEPENDENCE « $\sigma - \varepsilon$ »  
ON THE DESIGNED BENDING OF A BEAM FROM NONLINEAR DEFORMABLE MATERIAL

Vladimir Pavlovich Selyaev<sup>1</sup>, Sergey Yuryevich Gryaznov<sup>2</sup>,  
Evgenia Sergeevna Bezrukova<sup>3</sup>, Elmira Rafikovna Babushkina<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> National Research Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russian Federation

<sup>1</sup> ntorm80@mail.ru

<sup>2</sup> sergey.gryaznov.97@mail.ru

<sup>3</sup> eugenia.bezr@gmail.com

<sup>4</sup> delmira2009@yandex.ru

**Annotation.** The article presents the results of calculating by the method of successive loading (SLM) the deflections of beams made of cement and polymer concrete. The analysis of the influence of analytical functional dependences describing the experimental deformation diagrams of materials on the calculated deflections of beams is carried out. A calculation algorithm is proposed, with the combined application of the methods of sequential loading (SLM) and finite differences (FDM), which makes it possible to consider experimental nonlinear deformation diagrams, which are successfully described by combined power dependences.

**Keywords:** nonlinearity, deformation, approximation, beam, deflection, sequential loading method, finite difference method

**For citation:** Influence of the type of functional dependence « $\sigma - \varepsilon$ » on the designed bending of a beam from nonlinear deformable material / V.P. Selyaev, S.Yu. Gryaznov, E.S. Bezrukova, D.R. Babushkina // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 46-54. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_46.

**Information about the authors**

V.P. Selyaev – Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Sciences, Professor, National Research Ogarev Mordovian State University;

S.Yu. Gryaznov – Postgraduate, National Research Ogarev Mordovian State University;

E.S. Bezrukova – Postgraduate, National Research Ogarev Mordovian State University;

D.R. Babushkina – Postgraduate, National Research Ogarev Mordovian State University.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.

Научная статья

УДК 346.9 : 69

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_55

## О ПРОБЛЕМАХ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**Сергей Михайлович Анпилов**

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия, anpilovsm@gmail.com

**Аннотация.** Законодательство, регулирующее градостроительную деятельность, в силу объективных обстоятельств на современном этапе требует доработки. В данной работе особое внимание уделено проработке предложений по внесению в законодательство РФ по нормативно-правовому регулированию и расширению функций строительного контроля. С учетом успешного международного опыта (ассоциация инженеров-консультантов ФИДИК) для решения задач обеспечения качества работ в строительной отрасли, для обеспечения надлежащего исполнения государственных и муниципальных контрактов на выполнение подрядных работ и сокращения объемов незавершенного строительства в стране предлагается расширить функции строительного контроля и введения в строительную отрасль нового понятия, как «Институт строительного контроля».

**Ключевые слова:** строительный контроль, технический надзор, авторский надзор, государственный надзор, строительная отрасль, квалификация, проектирование и инженерные изыскания, строительство, качество работ и услуг, системы менеджмента качества, экспертиза, арбитражная практика

**Для цитирования:** Анпилов С.М. О проблемах правового регулирования в строительной отрасли и пути их решения // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 55-61. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_55.

### Введение

Конституцией Российской Федерации [1] гарантированы признание, соблюдение и защита прав и свобод гражданина для всех видов государственной деятельности и деятельности организаций реального сектора экономики.

Законодательством о градостроительной деятельности в РФ строительной отрасли поручена стратегическая миссия по практической реализации на территории государства услуг [см. 2-3]:

- территориального планирования;
- градостроительного зонирования;
- планировки территории;
- архитектурно-строительного проектирования;

- строительства объектов капитального строительства, при необходимости, их реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации зданий, сооружений, технического перевооружения объектов капитального строительства, с целью дальнейшего их использования в реальном секторе экономики государства;

- снос и утилизация объектов капитального строительства.

Государство в большинстве стран мира является крупнейшим заказчиком работ, услуг и товаров строительной отрасли. Как правило, государство выступает не только особым потребителем услуг строительной отрасли, но и самостоятельно определяет порядок выполнения подряд-



ных работ на объектах капитального строительства через систему государственных и муниципальных контрактов.

Доктор юридических наук А. Гогин отмечает, что «фундаментальные социальные ценности гражданина закреплены в Основном законе РФ – это основы конституционного строя, интересы общества и государства, человека, его права, свобода и т.д.» [4].

Конституция РФ (ст. 114) возлагает на правительство страны широкий спектр обязанностей и направлений деятельности, поскольку системными действиями правительства реализуется государственная политика по всем направлениям. Кроме того, на Правительство возложен контроль за расходованием бюджетных средств и социальной направленности расходов [4, с. 267].

В Российской Федерации действуют большое количество нормативно-правовых актов, регулирующих градостроительную деятельность, включая и исполнение подрядных работ для государственных и муниципальных нужд, и является сложным и иногда противоречивым.

Для реализации государственных заказов по инновационному развитию страны, в том числе развития строительной отрасли, её модернизации, формирования безопасной и комфортной среды проживания населения» [см. 5-8], заключаются контракты (договора).

Строительный комплекс является локомотивом развития экономики государства. Ведущая роль строительного комплекса в достижении стратегических целей развития общества определяется тем, что конечные результаты достигаются путем осуществления инвестиционно-строительных программ, проектов на федеральном и региональном уровнях подрядными работами для государственных (муниципальных) нужд [см. подробнее 5-6].

Договорные отношения в строительной отрасли отличаются повышенной сложностью и требуют высокой квалификации

сторон для обеспечения надлежащего исполнения контрактов, так и по подбору конкретных исполнителей по видам подрядных работ. За счет высокой квалификации и эффективного управления по исполнению работ, сокращаются издержки и разногласия в процессе исполнения контрактов, повышается как безопасность, так и эффективность от вложенных финансов на возведение государственных и коммерческих объектов [см. 7-10].

Отличительная черта, законодательства современной России, регулирующее градостроительную деятельность, характеризуется её нестабильностью и представлено множеством нормативно-правовых актов, сочетающих частноправовые и публично-правовые начала [11]. И в тоже время, в нормативно-правовые акты систематически вносятся многочисленные изменения и дополнения.

### Исследования

Поскольку объекты капитального строительства представляют из себя конструктивно-сложные инженерно-технические сооружения, то строительной отрасли необходимо осуществлять упреждающие мероприятия по регламентации взаимоотношений между Заказчиком, генеральным подрядчиком, субподрядными организациями, заводами-изготовителями и поставщиками строительных материалов, технологического оборудования.

По сведениям Счетной палаты Самарской области на 01.01.2020 года на 1213 объектов незавершенных строительством объем финансирования составил в сумме 72839,1 млн. рублей, из которых наибольший удельный вес по объему вложений имеют объекты незавершенных строительством, находящихся на балансе муниципальных образований и органов исполнительной власти и подведомственных учреждений [12]. Для сравнения, бюджет Министерства строительства Самарской области в 2021 году составил 8517986 тыс. руб. [13],

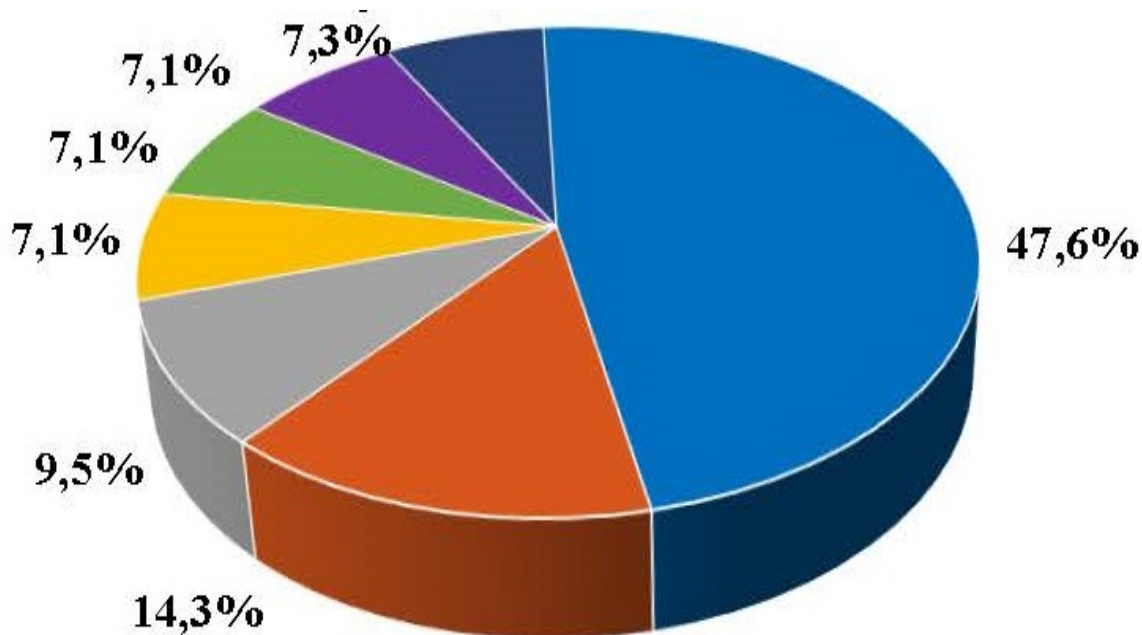


Рис. Структура нарушений в сфере закупок в 2020 г. в Самарской области

(стр. 79–82 Отчета) [12]. Последовательность указана по часовой стрелке: **47,6%** – приемка и оплата поставленных товаров, выполненных работ, оказанных услуг, несоответствующих условиям контрактов (договоров); **14,3%** – несоблюдение требований к содержанию документации (извещения) о закупке; **9,5%** – невключение в контракт (договор) обязательных условий; **7,1%** – нарушения при выборе конкурентного способа определения подрядчика (исполнителя, поставщика); **7,1%** – непринятие мер ответственности по контракту (договору), отсутствуют взыскания неустойки (пеня, штрафы) к недобросовестному подрядчику (исполнителю, поставщику); **7,1%** – непредоставление и (или) несвоевременное представление информации (сведений) и документов, необходимых для включения в реестр контрактов, заключенных проверяемыми заказчиками; **7,3%** – иные нарушения

т.е. объем незавершенного строительства превышает объем бюджета Минстроя в 8,5 раз!

Подобная ситуация выявлена счетной палатой РФ. Поручения Президента РФ по сокращению незавершенного строительства в стране федеральными и региональными органами исполнительной власти в полном объеме не выполнены. По итогам анализа за 2019 год количество объектов незавершенного строительства увеличилось и достигло 3,4 тыс. объектов, а число «брошенных объектов» составило 4,3 объектов (стр. 2, Отчета) [14].

При проведении контрольных мероприятий за расходованием бюджета Самарской области в сфере капитальных вложений 2020 года, выявлены финансовые нарушения на сумму 147,37 млн. рублей, среди которых неэффективное использование

бюджетных средств составляло 29,5 млн. рублей (см. стр. 66 Отчета) [12].

Структура выявленных нарушений в сфере закупок, проверенных Счетной палатой Самарской области в 2020 году заказчиков, приведена на рис. 1 (см. стр. 79–82 Отчета) [12].

В результате контрольных мероприятий выявлено, что наиболее распространенные нарушения в общем количестве выявленных нарушений, составили, см. рисунок.

Контрольными органами выявлено, что государственными и муниципальными заказчиками ненадлежащим образом исполнялись свои обязательства.

По результатам проведенных исследований, автор полагает, что подобное возможно, в том числе и по причинам:

- несовершенного нормативно-правового регулирования как в сфере осуществ-



ления строительного контроля, так и в сфере решения задач и закрепления в законодательстве понятия «незавершенное строительство»;

- отсутствие единого информационного ресурса, содержащего достоверную информацию об объеме (стоимости и количестве) объектов незавершенных строительством, включая источники финансирования, сроки реализации инвестиционных проектов и мерах, принимаемых исполнительной властью по вовлечению в хозяйственный оборот и или (перепрофилированию) реальным сектором экономики объектов незавершенных строительством;

- отсутствие ответственных органов исполнительной власти на федеральном, региональном и муниципальном уровне, в обязанность которых будет возложена ответственность по организации и реализации работы, направленной на снижение объемов и количества объектов незавершенного строительства;

- отсутствие персональной ответственности за эффективную систему учета и контроля за вовлечением объектов незавершенного строительства в хозяйственный оборот. Тем самым, создаются условия, при которых исполнительные органы власти принимают решения о строительстве новых объектов капитального строительства, без анализа и оценки возможности завершения (перепрофилирования) недостроенных объектов капитального строительства;

- отсутствия в указанных структурах профессиональных квалифицированных кадров по планированию и контролю за подрядными работам.

В 2021 году в стране создана государственная Публично-правовая компания «Единый заказчик», которой поручено выполнение функций государственного заказчика по строительству объектов гражданского направления [15].

Приоритетными задачами компании являются [15]:

- сокращение незавершенного строительства;

- реализация Федеральных инвестиционных программ по титульным объектам деятельности компании;

- повышение эффективности государственных финансов за счет внедрения инновационных подходов к возведению строительных объектов;

- внедрение цифровизации в строительную отрасль.

С целью эффективной реализации Федеральных целевых программ и Национальных проектов приняты Федеральный закон от 22.12.2020 № 435-ФЗ [16] и постановление Правительства РФ от 31.12.2020 №2395 [17].

Для реализации законодательства, регулирующего градостроительную деятельность, автором предлагается в рамках настоящих исследований проработать предложения о внесении в законодательство РФ по нормативно-правовому регулированию и расширению функций строительного контроля, как «дирижера строительного оркестра» и возложить их на профессиональный «Институт строительного контроля» с учетом успешного международного опыта (ассоциации инженеров-консультантов ФИДИК) [18] по решению задач обеспечения качества работ в строительной отрасли.

Ранее нами представлялся ряд составных моментов по Стратегии развития строительной отрасли РФ до 2030, обозначались комплексные решения базовых задачи, в числе которых [см. 5-6]:

- совершенствование нормативно-правовой базы и порядка регулирования строительной деятельности;

- совершенствование контрактной системы и государственно-частном партнерстве в строительной отрасли;

- совершенствование системы государственного управления и регулирование строительства, цифровизация системы



управления, совершенствование системы надзора;

- реальная передача части полномочий от государства и к профессиональному сообществу (допуск на рынок новых операторов строительного контроля и надзора);
- обеспечение строительной отрасли профессиональными высококвалифицированными кадрами, и др.

Изложенные обстоятельства свидетельствуют об актуальности темы исследования и необходимости совершенствования градостроительного законодательства, включая и Положение «О порядке проведения строительного контроля на объектах капитального строительства» [3], которое, по мнению автора, позволит правовыми средствами строительного контроля обеспечить надлежащее исполнение подрядных работ для государственных и муниципальных нужд, сократить объемы незавершенного строительства в стране и предотвратить нарушения, например выявленные выше в отчетах счетных комиссий [12, 14].

Обращаем внимание на то, что с целью решения главной проблемы строительной отрасли – повышения качества оказываемых услуг, выполняемых работ, сокращения объемов незавершенного строительства, осуществляемых строительной отраслью, предлагаемые далее в научно-исследовательской работе рекомендации автора, по фундаментальной переработке нормативно-правовых актов с учетом международного опыта, требуют комплексного и системного решения.

Автор планирует продолжить исследование для решения поставленных ниже задач.

#### **Цель дальнейших исследований**

Создание научно-обоснованной, организационно-правовой, экономически-востребованной методики и механизма её эффективного внедрения в строительной отрасли для обеспечения надлежащего исполнения государственных и муниципальных контрактов на выполнение подрядных

работ и сокращения объемов незавершенного строительства в стране.

#### **Задачи исследования**

Для достижения поставленной цели автором сформулированы требующие решения задачи:

- изучить существующую отечественную и международную практику правового регулирования по обеспечению качественного исполнения подрядных работ для государственных нужд;
- исследовать текущие проблемы обеспечения качественного исполнения подрядных работ для государственных нужд;
- подготовить предложения о внесении в законодательство РФ по нормативно-правовому регулированию и расширению функций строительного контроля;
- предложить системную научно-обоснованную, организационно-правовую, методику комплексного обеспечения качественного исполнения подрядных работ для государственных, муниципальных нужд и механизма её эффективного внедрения в строительной отрасли.

#### **Список источников**

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020) URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 04.03.2021).
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации. ФЗ от 29 декабря 2004 № 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021) URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338?section=operative> с изм. и доп. (дата обращения: 06.01.2022).
3. Положение "О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства" // Постановление Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. №468. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902222619?section=text> (дата обращения: 06.01.2022).



4. Гогин А.А. Правонарушение: общетеоретический, межотраслевой и отраслевые аспекты: монография. – М.: Юрлитинформ, 2016. 376 с.
5. О стратегии развития строительной отрасли РФ (часть I) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2019. №1(1). С. 7-15. DOI 10.24411/2686-7818-2019-00011
6. О стратегии развития строительной отрасли РФ (часть II) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2019 № 2(2). С. 12-15. DOI 10.24411/2686-7818-2019-00023
7. Строительном контроль, как правовое средство, обеспечивающее надлежащее исполнение подрядных работ / С.М. Анпилов, А.В. Михайлов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2021 № 2 (11). С.77-91. DOI 10.51608/26867818\_2021\_2\_77
8. О строительном контроле. По материалам судебной практики. Часть 1 / С.М. Анпилов, А.Н. Федорова, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2021 № 6 (15). С. 77-86. DOI 10.51608/26867818\_2021\_6\_77
9. Фундаментальные и прикладные исследования проблемы качества выполненных работ (арбитражная практика) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2020 № 4 (7). С. 10-25. DOI 10.24411/2686-7818-2020-10030
10. Экспертные исследования по определению качества строительной продукции в рамках арбитражного судопроизводства / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2020 № 5 (8). С. 9-14. DOI 10.24411/2686-7818-2020-10041
11. Некоторые спорные положения Градостроительного кодекса РФ / А.А. Гогин, А.Н. Федорова // Эксперт: теория и практика. 2021. №1(10). С. 50-58. DOI 10/51608/26867818\_2021\_1\_50
12. Отчет о деятельности Счетной палаты Самарской области за 2020 год. URL: <http://sp.samregion.ru/upload/ОТЧЕТ/2020.pdf> (дата обращения: 06.01.2022).
13. Закон Самарской области от 07.09.2021 №82-ГД «О внесении изменений в Закон Самарской области «Об областном бюджете на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов». URL: <https://minfin-samara.ru/2021-2023/> (дата обращения: 06.01.2022).
14. Счетная палата РФ. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Мониторинг мер, принимаемых органами исполнительной власти РФ, направленных на сокращение объемов и количества объектов незавершенного строительства за 2019 год и истекший период 2020 года». URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/ba1/ba14764e8e85fc6088170f07aaf7b0a3.pdf> (дата обращения: 06.01.2022).
15. Публично-правовая компания "Единый заказчик в сфере строительства" / Сайт компании. URL: <https://ppk-ez.ru/about-company/> (дата обращения: 06.01.2022).
16. Ф3 "О публично-правовой компании "Единый заказчик в сфере строительства" и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 22.12.2020 N 435-ФЗ (последняя редакция). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_371586/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371586/) (дата обращения: 06.01.2022).
17. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2395 "О публично-правовой компании "Единый заказчик в сфере строительства" (вместе с "Уставом публично-правовой компании "Единый заказчик в сфере строительства", "Правилами назначения генерального директора публично-правовой компании "Единый заказчик в сфере строительства", "Положением о наблюдательном совете публично-правовой компании "Единый заказчик в сфере строительства"). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_373566/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373566/)
18. FIDIC – (ФИДИК) Международная федерация инженеров-консультантов, является глобальным представительным органом национальных ассоциаций инженеров-консультантов и представляет более миллиона инженеров и 40 000 фирм в более чем 100 странах мира. FIDIC. URL: <https://www.fidic.org/about-us> (дата обращения: 06.01.2022).

### **Информация об авторе**

С.М. Анпилов – эксперт, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, советник РААСН, профессор кафедры Тольяттинского государственного университета, ORCID 0000-0002-6512-5803.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 15.01.2022; принята к публикации 15.01.2022.



Original article

## CHALLENGES OF THE LEGAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY AND WAYS TO ADDRESS THEM

**Sergey Mikhailovich Anpilov**

Togliatti State University, Togliatti, Russia, anpilovsm@gmail.com

**Annotation.** At the present stage, the legislation that is regulating urban planning activities needs to be improved due to objective circumstances. This work considers the elaboration of proposals to introduce them to the Russian Federation's legal regulatory and to expand the functions of building control. Based on the successful international experience (FIDIC - International Federation of Consulting Engineers) in the field of construction quality assurance to ensure the proper execution of State and municipal contracts and to reduce the amount of unfinished construction in the country, it is proposed to expand the functions of construction control and introduce a new concept into the construction industry, as follows: «Institute of Building Control».

**Keywords:** building control, technical supervision, copyright supervision, state supervision, construction industry, qualification, design and engineering research, construction, quality of works and services, quality management systems, expertise, arbitration practice

**For citation:** Anpilov S.M. Challenges of the legal regulation of the construction industry and ways to address them // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 55-61. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_55.

### **Information about the authors**

S.M. Anpilov – expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Doctor of Technical, Professor of the Department, Togliatti State University.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.02.2022; approved after reviewing 15.01.2022; accepted for publication 15.01.2022.

Научная статья

УДК 69.003, 69.007, 69.009

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_62

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Воробьев Павел Викторович<sup>1</sup>, Керженцев Олег Борисович<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Архитектурно-строительный институт Тольяттинского государственного университета,  
Тольятти, Россия

<sup>1</sup> pav769@yandex.ru

<sup>2</sup> okerzencev@gmail.com

**Аннотация.** В настоящей статье проводится анализ функционирования строительной отрасли РФ на современном этапе. Актуальность исследования области строительства позволяет нам надеяться, что эта статья, обращенная инженерно-техническим работникам, управленческому персоналу, профессорско-преподавательскому составу и студентам строительных специальностей, станет полезной в профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** особенности, актуальные вопросы, развитие, вызовы, функционирование строительной отрасли, инновационные технологии, реформа образования, качество подготовки специалистов

**Для цитирования:** Воробьев П.В., Керженцев О.Б. Актуальные вопросы строительной отрасли в Российской Федерации на современном этапе // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 62-61. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_62.

Каждому этапу развития строительной отрасли присущи свои вызовы, возникающие по причине постоянных изменений во внешней среде. Рассматриваемые в исследовании проблемы позволяют решать научно-практические задачи, стоящие сегодня перед отраслью.

Характеризуя строительную отрасль РФ с точки зрения системного научного подхода следует отметить, что отрасль как открытая экономическая система имеет множество связей с внешней средой. К таким связям можно отнести:

- черная и цветная металлургия,
- промышленность строительных материалов и конструкций,
- деревообрабатывающая промышленность,
- химическая промышленность,

– автомобильные и железнодорожные перевозки,

– машиностроение и др.

Эти экономические подсистемы, непосредственно взаимодействуют с системой, называемой строительной отраслью. Строительство в экономике государства представляется как межотраслевой комплекс, который предназначен для успешного и эффективного развития страны. Кроме того, необходимо учитывать фоновую среду, влияющую на отрасль косвенно. К этой среде необходимо отнести системные мировые тенденции и др.

Внутри системы (строительной отрасли) находится ряд взаимосвязанных между собой элементов, таких как: государственные строительные и проектные организации, технологические предприятия и



организации, промышленные негосударственные организации, комитет по делам строительства и архитектуры, имеющий государственный статус и др. Анализируя функционирование строительной отрасли, важно обратить внимание на те особенности, которые ей присущи. Наиболее значимые из них сведены авторами в схему на рисунке.

- общие ограничения в связи с карантинными мероприятиями по заключению компетентных государственных органов;
- заболевания и госпитализация работников – участников строительства;
- приостановление работ и нарушение планов строительства объектов;
- проблемы поставки материалов и оборудования по причине закрытых границ;



Рис. Особенности строительной отрасли

Развитию строительной отрасли в России государство уделяет большое значение и в настоящее время Минстроем России, с участием заинтересованных организаций и Правительства Российской Федерации, разработана стратегия до 2030 года.

Охарактеризовав строительную отрасль РФ и обозначив ее особенности, далее необходимо перейти к тем вызовам, которые возникли на сегодняшнем этапе. Последние два года строительной отрасли, как и всей мировой экономике, пришлось столкнуться с пандемией коронавирусной инфекции. В следствии этого, возникли факторы, осложняющие процесс строительства:

- фиксация форс-мажорных обстоятельств (по согласованию сторон) в договорах строительного подряда;
- дополнительные расходы по строительным сметам на антисептики, маски и др.;
- снижение объемов ввода жилья;
- снижение покупательной способности потребителей строительных услуг;
- и др.

Для того чтобы минимизировать влияние выявленных факторов на процесс строительства, необходимы меры государственной поддержки, а также разработанные во всех структурах отрасли, антикризисные стратегии.



Важным вызовом на современном этапе мы считаем необходимость создания инновационной технологической базы строительства. Формирование инновационного потенциала, на наш взгляд, необходимо стимулировать по следующим направлениям:

- строительные материалы и технологии, применяемые в строительстве;
- управленческие технологии и трудовые ресурсы;
- инвестиционные и организационно-экономические механизмы;
- основные фонды и архитектурно-планировочные решения;
- информационный, научно-технический и правовой сегмент строительства.

Каждое, из обозначенных направлений, необходимо эффективно развивать и это будет залогом эффективной модернизации и перехода на новый технологический уровень. Важная инновационная составляющая на наш взгляд, входит в число ключевых факторов конкурентоспособности. Возрастание роли человеческого ресурса, наполняющего отрасль, как основного фактора экономического развития и эффективного функционирования, имеет ряд направлений для совершенствования.

Анализируя этот аспект деятельности, мы выделяем ряд проблем, существующих

продолжительное время и возникших на современном этапе в строительной отрасли:

- качественные преобразования необходимы в системе подготовки и переподготовке инженерно-технических работников;
- большой спрости постоянная потребность в квалифицированных рабочих кадрах;
- необходимость решать вопрос комплектации строительных организаций за счет приезжих из ближнего зарубежья.

Реформа образования открыла не только такие возможности, как доступность получения строительной специальности персоналу отрасли, но и заметно снизила качество подготовки специалистов, в частности на дистанционной форме обучения. На наш взгляд, на эту форму обучения целесообразно принимать только тех, кто уже работает по специальности. Надо признать, что спрос на специалистов строителей, сегодня опережает даже спрос на специальности по IT-технологиям. Об этом говорит число выделяемых бюджетных мест в ВУЗы РФ. Человеческий ресурс и инновационные технологии являются драйвером развития всех направлений совершенствования эффективной работы строительной отрасли. Это делает актуальными вызовы, обозначенные в нашей статье.

#### **Информация об авторах**

*П.В. Воробьев* – кандидат экономических наук, доцент Архитектурно-строительного института Тольяттинского государственного университета;

*О.Б. Керженцев* – руководитель Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства, ORCID 0000-0003-3555-6298, кандидат технических наук, доцент Архитектурно-строительного института Тольяттинского государственного университета.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 15.01.2022; принята к публикации 15.01.2022.



Original article

## CURRENT ISSUES OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE RUSSIAN FEDERATION

Pavel Viktorovich Vorobyov<sup>1</sup>, Oleg Borisovich Kerzhentsev<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Institute of Architecture and Construction of Togliatti State University, Togliatti, Russia

<sup>1</sup> pav769@yandex.ru

<sup>2</sup> okerzencev@gmail.com

**Annotation.** This article analyzes the functioning of the construction industry in the Russian Federation at the present stage. The relevance of construction research leads authors to hope that this article will be useful for engineers, managers, professors, and students of construction sciences.

**Keywords:** features, relevant issues, development, challenges, functioning of the construction industry, innovative technologies, educational reform, quality of professional training

**For citation:** Vorobyev P.V., Kerzhentsev O.B. Current issues of the construction industry in the Russian Federation // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 62-65. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_62.

### **Information about the authors**

*P.V. Vorobyov* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Institute of Architecture and Construction of Togliatti State University;

*O.B. Kerzhentsev* – ORCID 0000-0003-3555-6298, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Center for Architectural, Structural Solutions and construction organization, both - Institute of Architecture and Construction of Togliatti State University.

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

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 17.01.2022; accepted for publication 17.01.2022.



Научная статья

УДК 69.03

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_66

## МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЕ РИСКА НЕДОСТИЖЕНИЯ ПЛАНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЬЯ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ПАНДЕМИИ

**Петр Васильевич Герасименко**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, pv39@mail.ru

**Аннотация.** Предложена методика оценивания риска недостижения плановых показателей суммарных площадей вводимого жилья в РФ, основные этапы реализации которой включают моделирование и верификацию модели, модельное точечное и интервальное прогнозирование, анализ прогноза и оценивание риска. Математическая модель изменения суммарной жилой площади построена по выборке статистических данных Росстата с 2005 по 2020 годы. Построение модели и выполненное прогнозирование осуществлены с помощью ППП Excel. В основу построения модели положен регрессионный анализ и метод наименьших квадратов. Сравнение прогнозных и плановых значений площади показали, что планы на 2021-2022 годы находятся в пределах доверительного интервала и выполнимы с разной степенью риска, а планы на 2023-2024 годы имеют максимальный уровень риска и являются недостижимыми. Они требуют доработки с учетом развития в стране пандемии и возможного снижения числа работников в строительстве жилых зданий за счет эмигрантов.

**Ключевые слова:** моделирование, прогнозирование, оценивание, регрессия, коэффициент детерминации, точечная и интервальная оценка

**Для цитирования:** Герасименко П.В. Методика оценивание риска недостижения плановых показателей строительства жилья в условиях развития пандемии // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 66-74. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_66.

### Введение

Как известно, практическая реализация поставленных задач не всегда завершается успешно, а сопровождается отклонениями от поставленных целей. В последнее время в связи развитием пандемии и ответственными задачами перед принятием решения на ее реализацию возникает необходимость проводить оценку риска по достижению желаемой цели. К настоящему времени имеется большое число решенных задач по оцениванию риска. Ряд подходов и определений оценивания показателей риска, в качестве которых выступает вероятность недостижения результата, показали

свою относительно удовлетворительную эффективность при изучении локальных и, вообще говоря, простых объектов исследования. При переходе к более сложным объектам они далеко не всегда успешны. В работе предлагаемая методика при оценивании риска недостижения уровней плановых показателей базируется на основе системной методологии [1].

Применительно к решаемой задаче под риском понимается *субъективная характеристика меры отклонения планируемого показателя цели от показателя смоделированной конечной цели, в виде прогнозного интервала, который стро-*

ится в условиях неопределенности, что может привести к различным уровням ошибки предсказания [2].

Таким образом, с учетом неопределенности протекания процесса достижения конечной цели, прогнозный показатель должен быть интервальным, а мерой отклонения должна выступать вероятность недостижения конечной цели. Для этого путем моделирования и прогнозирования, устанавливается доверительный интервал возможных значений результатов строительства жилой площади. В пределах спрогнозированного интервала с левой и правой границам и значения суммарной площади вводимых строительных зданий рассматриваются как значения случайной величины. Обосновав ее плотность распределения по

выполнения планов строительства жилых площадей.

Основными этапами ее реализации являются:

- построение модели изменения общей площади зданий, вводимых за год строительства, в виде аналитической функции регрессии;
- проверка качества модели с помощью погрешностей аппроксимации, коэффициента детерминации и статистической значимости функции регрессии;
- точечной и интервальной оценки прогнозного объема общей площади по строительным годам;
- оценивание риска невыполнения строительством плановых значений площадей жилых помещений.

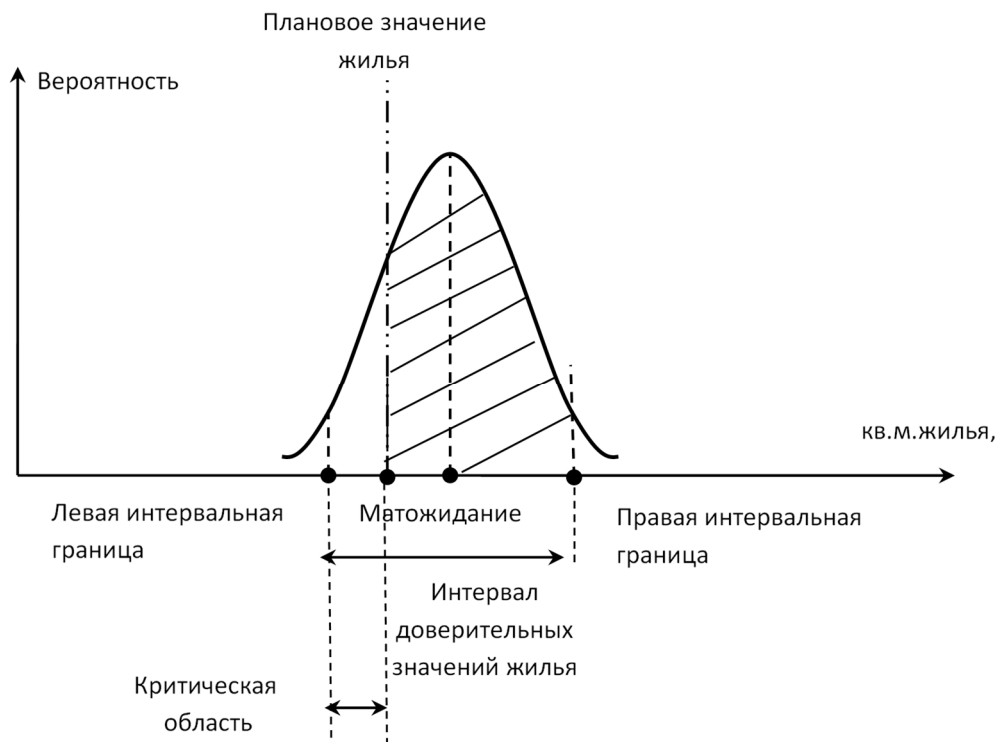


Рис. 1. Схема, поясняющая определение риска

положению показателя плана относительно интервала можно определить критическую область и вероятность (риск) недостижения плана (рис. 1).

Исходя из определения риска, методика позволяет определить вероятности не-

### 1. Построение модели изменения общей жилой площади зданий

Рынок жилья является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов рынка недвижимости, поскольку



несет особую социальную нагрузку. Обеспеченность жильем и его доступность для населения напрямую влияют на уровень его жизни и сказываются на темпах прироста населения. Приобретение жилья требует значительных затрат денежных средств, а поэтому моменту покупки обычно предшествует длительный период накопления. Поскольку приобретать жилье человек можно только в случае, когда индивидуальное финансовое благосостояние его находится как минимум на среднем уровне, то именно по строительству и покупательной способности жителей можно ориентироваться и о благополучии населения.

Строительная отрасль в России в 90-х годах прошедшего века определяла влияние жилья как основу главнейших реформ в будущем. Достижения строительства жилья стали свидетелями ряда важных факторов, среди которых оживленность экономики и

уровень жизни населения. Для анализа уровня строительства жилья на сегодняшний день в стране, необходимо рассмотрим статистику Росстата [3]. Количество за последние 16 лет введенных площадей за счет строительства жилья представлено в таблице 1.

Несмотря на развитие пандемии в стране строительная отрасль в 2020 году смогла практически сохранить темпы строительства. Такие показатели в условиях пандемии обеспечила консолидация усилий всех участников отрасли, а также слаженные действия регионов и федерального центра. Согласно данным Росстата, итоговый показатель ввода жилья в 2020 году на территории России достиг 82,2 млн. кв. м. Плановый показатель ввода по итогам 2021 года установлен на уровне 78 млн. кв. м. жилья [3]. Государственной программой Российской Федерации "Обеспе-

Таблица 1. Общая площадь жилых помещений по годам введения зданий

Год введение площади	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общая площадь жилых помещений, млн. кв. м.	43,6	50,6	61,2	64,1	59,9	58,4	62,3	66,7
Год введения площади	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Общая площадь жилых помещений, млн. кв. м.	70,6	84,2	85,3	79,8	79,2	75,3	82	82,2

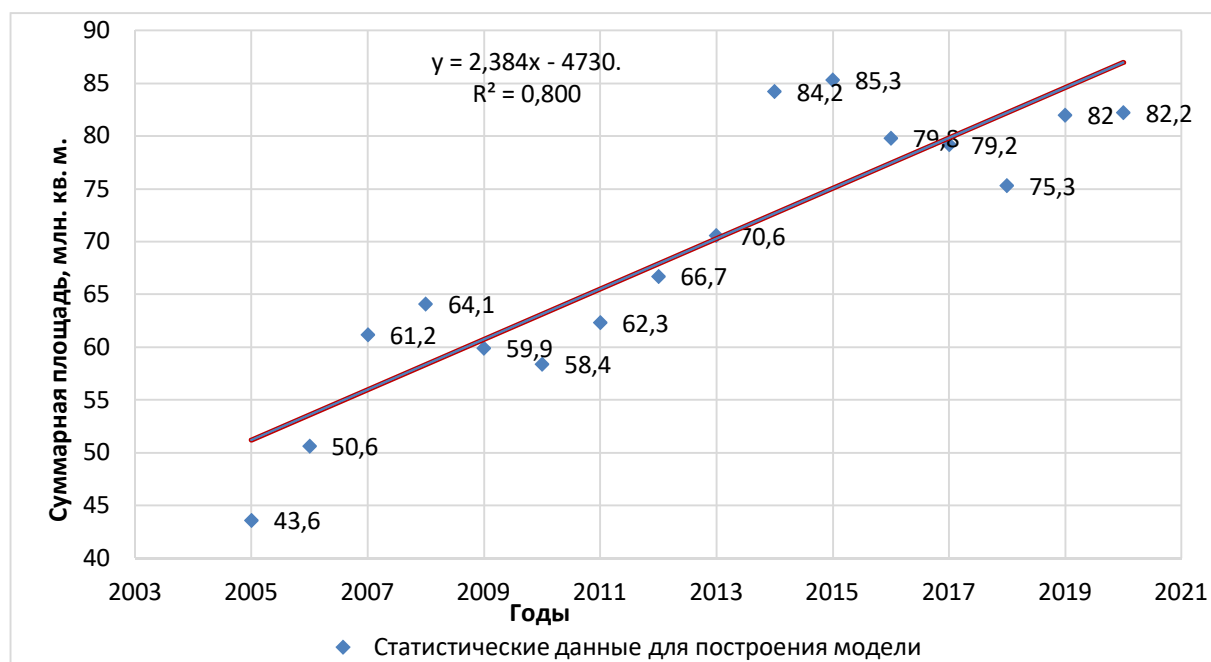


Рис. 2. Зависимость площади зданий от года ее введения



чение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации", утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2017 г. N 1710, предусмотрено в качестве основной цели увеличение годового объема ввода жилья до 120 млн. кв. метров к 2025 году [4]. Если предположить линейное увеличение жилья с 2021 по 2024 год, то в 2022 и 2023 необходимо предположить планы соответственно 92 и 106 млн. кв. м.

В работе использована математическая модель, которая опирается на реальные статистические суммарные размеры вводимых ежегодно площадей зданий, т.е. в качестве исходных данных использованы статистические данные за период с 2005 по 2020 годы, представленных в таблице 1. На основании данных таблицы на рис. 2 представлены график линейной модели, ее аналитическое выражение, а также вычисленные по нему расчетные значения введенных площадей жилья и коэффициент детерминации представлены.

Реализация математического аппарата выполнена с помощью ППП Excel, в основе которых положен метод наименьших квадратов [5]. Применяемый аппарат позволил построить линейные и нелинейные модели. Коэффициенты детерминации сте-

пенной и показательной моделей отличались линейной на величину равную 0,05. Поэтому в качестве модели для проведения дальнейших исследований принята линейная модель, так как она обладает простотой и сравнительно высоким коэффициентом детерминации.

## 2. Проверка качества линейной модели с помощью погрешностей аппроксимации, коэффициента детерминации и статистической значимости функции регрессии

В таблице 2 представлены, рассчитанные по опытным и модельным теоретическим значениям вводимых площадей жилья с 2005 по 2020 годы, абсолютные и относительные погрешности.

Из таблицы следует, что абсолютная погрешность аппроксимации опытных значений не превышает 12 млн. кв. м., а относительная – 17,5 %.

Как видно из рис. 2, коэффициент детерминации равен 0,8. Он свидетельствует, что связь между результатом применения модели (общая площадь жилья) и фактором (год введения зданий), достаточно тесная и соответствует порядка 80 %.

Для проверки статистической значимости модели использован инструмент «Регрессия» надстройки «Пакет анализа» ППП

Таблица 2. Абсолютная и относительная погрешности модели

Год введение площади	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Абсолютная погрешность, млн. кв. м	7,60	2,99	5,23	5,74	0,84	4,73	3,21	1,20
Относительная погрешность, %	17,44	5,90	8,54	8,96	1,40	8,09	5,15	1,79
Год введения площади	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Абсолютная погрешность, млн. кв. м	0,32	11,54	10,25	2,37	0,62	6,90	2,59	4,77
Относительная погрешность, %	0,45	13,70	12,02	2,96	0,78	9,17	3,16	5,81

Таблица 3. Выборочные значения параметров применения инструмент «Регрессия»

Коэффициенты регрессии		Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Статистика Фишера
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>F</i>
0,52	-1,47	0,89	0,8	56
Суммы квадратов разностей		Общая	Факторная	Остаточная
		2416,7	1933,5	483,2



Excel. Инструмент «Регрессия» пакета анализа данных Excel позволяет по введенным статистическим данным получить кроме значений выборочных коэффициентов корреляции и детерминации, также разложения общей суммы квадратов на объясненную и остаточную, расчетное значение F-статистики. Основные величины применения инструмента представлены в таблице 3.

Сопоставляя факторную и остаточную дисперсии в расчете на одну степень свободы, получаем величину статистики Фишера равную 56. Сравнивая ее с табличным значением статистики Фишера, которая равна 4,54, приходим к заключению, что факторная дисперсия существенно больше остаточной. Следовательно, как это трактует математическая теория статистики, нулевая гипотеза опровергает равенство этих двух дисперсий. Поэтому, в работе делается вывод о наличии существенной связи между вводимым в эксплуатации объемом жилой площадью и годом введения [6]. Таким образом, по трем показателям можно сделать вывод, что качество модели позволяет ее применить для прогноза.

### 3. Точечная и интервальная оценки прогнозного объема общей площади и анализ прогноза

Анализ разброса статистических опытных данных, вводимых в эксплуатацию площадей жилых зданий, позволяет предположить множество случайных факторов, влияющих на сроки и размеры вводимых площадей. Поэтому при прогнозировании по статистическим данным суммарные жилые площади вводимых в эксплуатацию зданий, возникающие ошибки могут быть суще-

ственными, что требует осуществлять как локальный, так и интервальный прогнозы. В прогнозных расчетах по уравнению регрессии, представленное на рис. 1, для прогнозируемого года  $x_p$  определяется среднее значение площади  $y(x_p)$ . Оно моделирует истинное значение  $Y^*$ , остающееся неизвестным до окончания процесса достижения цели. Как известно, точечный прогноз несет в себе ошибку, так как величина  $y(x_p)$  является случайной. Более корректным прогнозом является прогноз с использованием интервальной оценки. Для этого точечный расчет результирующей переменной  $y(x_p)$  должен быть дополнен интервальной оценкой прогнозируемого значения вводимой площади, которая имеет вид:

$$y(x_p) - m_T \leq Y^* \leq y(x_p) + m_T,$$

где  $m_{\hat{y}_p} = t_{1-\alpha, n-2} \cdot S_{x_p}$ ,  $t_{1-\alpha, n-2}$  есть табличное значение t-распределения Стьюдента с  $n - 2$  степенями свободы на уровне значи-

мости  $\alpha = 0,05$ ,  $S_{x_p} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - x_p)^2}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}}$

- оценка среднее квадратичного отклонения вводимой суммарной площади жилья (стандартная ошибка),  $S$  - корень квадратный от остаточной суммы квадратов на одну степень свободы.

Получение табличной величины t-статистики в Excel осуществляется с помощью функции «СТЮДРАСПОБР». Эта функция имеет два аргумента: вероятность (уровень статистической значимости  $\alpha = 0,05$ ) и степень свободы (количество степеней сво-

Таблица 4. Результаты интервального прогноза

Прогнозный год	2021	2022	2023	2024
Точечное прогнозное значение	89,36	91,74	94,13	96,51
Левая доверительная граница	76,63	78,70	80,75	82,77
Правая доверительная граница	102,08	104,78	107,51	110,25
Прогнозный доверительный интервал	25,45	26,08	26,75	27,48
Планируемое значение	78	92	106	120



боды  $n - 2$ ). На основании применения процедуры «СТЫЮДРАСПОБР» получено значение t-статистики. Результаты расчета среднего значения и границ доверительного интервала для прогнозных 2021 и 2022 годов приведены в таблице 4.

Результаты интервального оценивания на промежутке с 2020 по 2024 год и плановые значения суммарных площадей 2021-2024 годов изображены на рис. 3.

тодом решения на первом этапе задачи прогнозирования и оценивания риска является моделирование систем. Именно при моделировании закладываются основы рисков, поскольку субъект принимает решение относительно функционирования объекта по смоделированному объекту исследования.

Риск возникает тогда, когда существует неопределенность в описании дости-

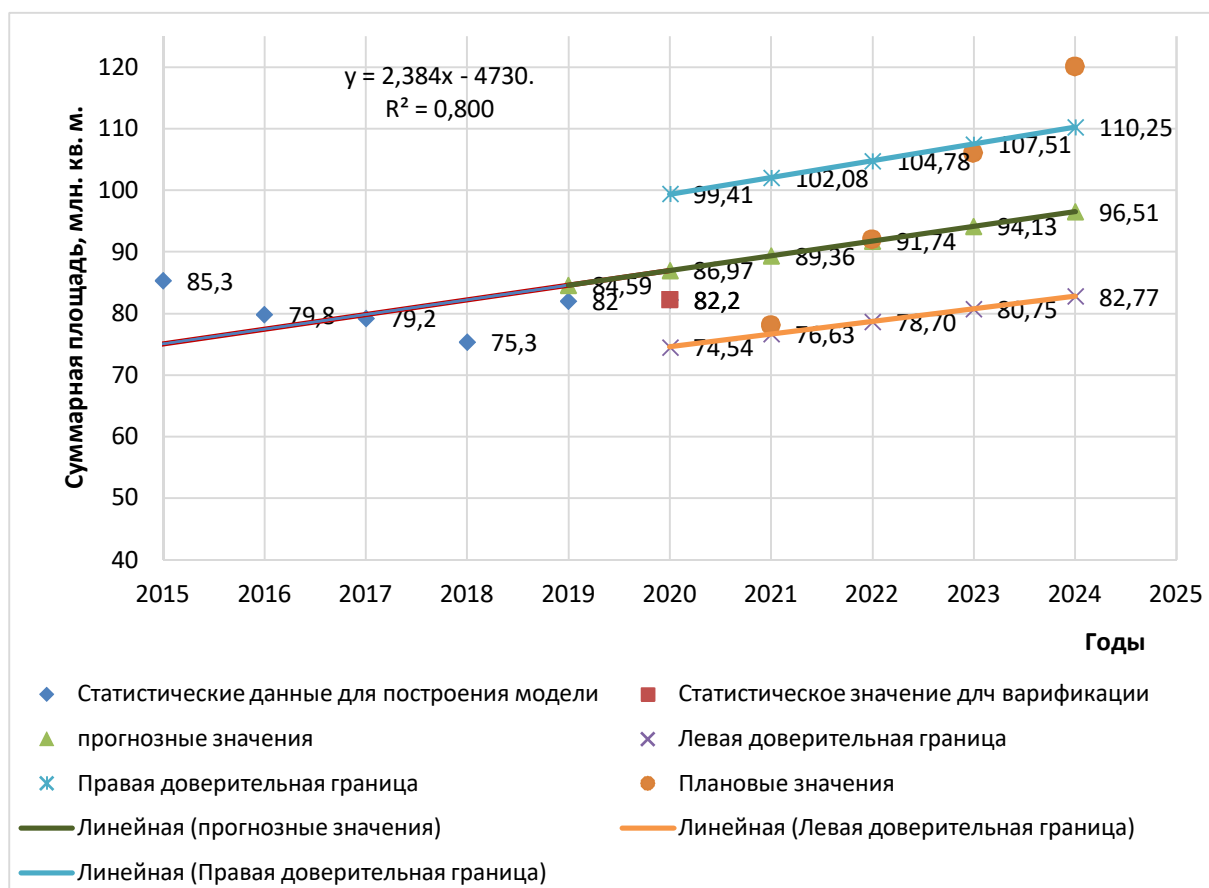


Рис. 3. Графики результатов интервального прогноза

Представленные результаты прогноза позволяют оценить риск (вероятность) достижения плановых объемов жилых площадей в заданное время по годам введения в эксплуатацию зданий.

#### 4. Оценивание риска недостижения строительством плановых значений суммарных площадей жилых помещений

Как это следует из методики основным инструментальным и эффективным ме-

ждения конечной цели функционирования объекта. Под неопределенностью понимают отсутствие полной информации о функционировании объекта, невозможность точного предсказания, будущего в достижении конечной цели.

Поэтому считают, что достижение цели осуществляется, когда его показатель будет находиться в пределах значений, задаваемых прогнозным интервалом. Как отмечалось, значения в пределах интервала

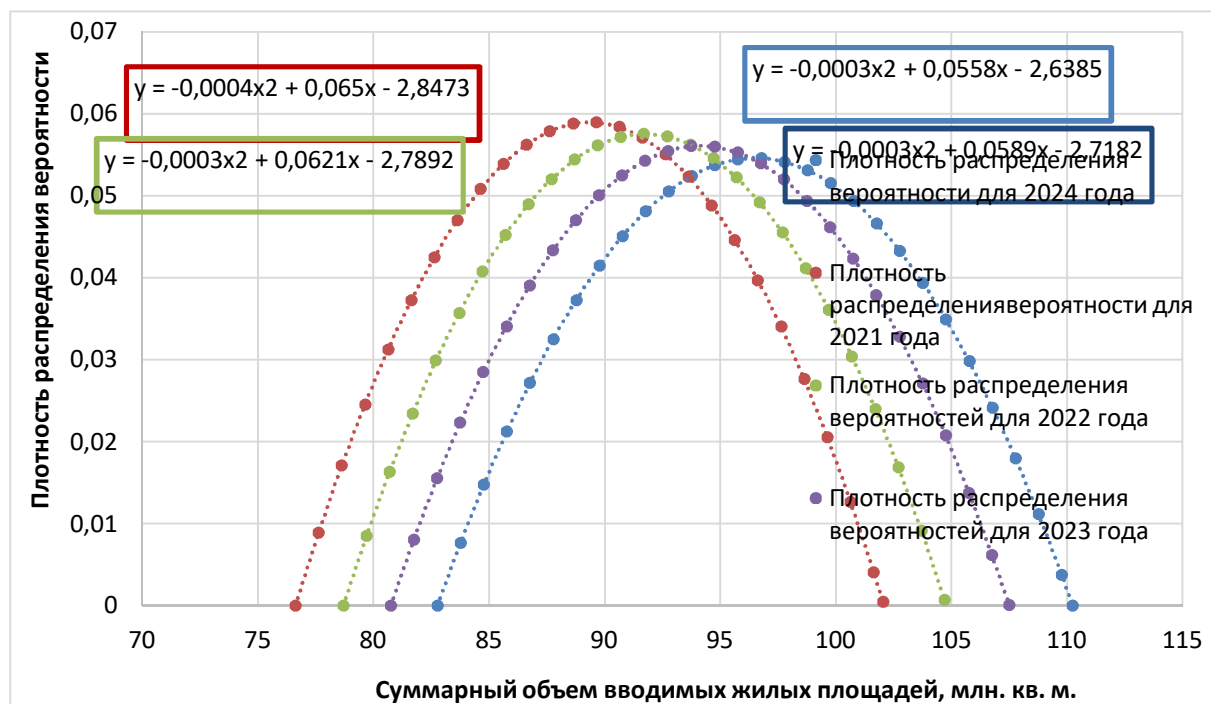


Рис. 4. Графики плотности вероятности для 2021-2024 годов

считаются как значения случайной величины – значения объемов вводимых площадей жилья. Для плотности распределения вероятностей этой случайной величины в работе принят параболический закон, графики и аналитические зависимости которых представлены на рис. 4. Графики построены по форме параболической плотности на заданных доверительных интервалах с учетом, что интеграл функции плотности вероятности на всем интервале равен единице [7].

Каждый график (рис. 4), соответствующий определенному году введения площадей. На оси суммарной площади он опирается на свой доверительный интервал. Для оценивания рисков недостижения плановых площадей на числовую ось суммарной величины жилых площадей необходимо нанести значение плана вводимых площадей. При этом, если значение плана на числовой оси суммарного объема вводимой площади располагается до доверительного интервала, то риск (вероятность) недостижения этого плана равна нулю, а если после интервала – единице. В случае расположения планового значения суммарной площади вводимых зданий внутри доверитель-

ного интервала, то показатель риска (вероятность) следует вычислять по соотноше-

$$p = \int_{y_1}^{y_p} y(x) \cdot dy$$

Таблица 4. Риск (вероятность) недостижения плана

Год	2021	2022	2023	2024
План, млн. кв. м.	78	92	106	120
Риск (вероятность недостижения плана)	0,026	0,6525	0,999	1

В таблице 4 представлены величины риска (вероятности) недостижения плановых объемов суммарной жилой площади по годам введения в эксплуатацию зданий.

### Заключение

Предложена методика оценивания риска (вероятность) недостижения запланированных показателей целевой задачи. На примере строительства жилых домов выполнена оценка риска недостижения планируемых объемов жилой площади. Показано, что планы на 2021-2022 годов находятся в пределах доверительного интервала и выполнимы с разной степенью риска,



а план 2023-2024 годов имеют максимальные уровни риска и являются недостижимым. Они требуют доработки с учетом развития в стране пандемии. Кроме того, существующее желание сократить работников в строительной области из числа эмигрантов требует также внести изменения в планы.

#### Список источников

1. Герасименко П.В. Теория оценивания риска. – СПб., 2015.
2. Герасименко П.В. Теоретические аспекты оценивания обобщенного показателя риска // Государство и бизнес. Современные проблемы экономики: сб. мат. VIII Междунар. научно-практ. конф. - 2016. С. 17-22.
3. Строительство жилых и нежилых зданий по данным Росстат. URL: <https://rosinfostat.ru/stroitelstvo/>

4. Государственная программа Российской Федерации "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации", утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2017 г. N 1710. URL: <https://bazanpa.ru/minstroj-rossii-plan-ot05032020-h4688689/>

5. Гайдаржи Г.Х., Шинкаренко Е.Г., Герасименко П.В. Математическому образованию – развивающую направленность // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании: сб. труд. IV Междунар. научно-метод. конф. - 2017. С. 37-40.

6. Герасименко П.В., Ходаковский В.А. Введение в эконометрику. Учебное пособие. – СПб.: ПГУПС, 2005.

7. Вадзэнский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. - СПб: Наука, 2001. 295 с.

#### Информация об авторе

П.В. Герасименко – доктор технических наук, профессор, кафедра «Математика и моделирование» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, ORCID 0000-0002-7546-661X, Scopus Author ID 7005769656.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.

Original article

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RISK OF NOT ACHIEVING THE TARGETS FOR HOUSING IN THE CONTEXT OF THE PANDEMIC

**Petr Vasilievich Gerasimenko**

St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, St. Petersburg, Russia, pv39@mail.ru

**Annotation.** Authors propose a method for assessing the risk of not reaching the planned indicators building of the total volume of housing in the Russian Federation, the main stages of implementation of which include modeling and verification of the model, model point and interval forecasting, forecast analysis, and risk assessment. The mathematical model of change of volume of dwelling-place is built on the retrieval of statistical data from 2005 to 2020. The construction of the model and executed prognostication are carried out by means of ППП Excel. A regressive analysis and least-squares method are fixed on the basis of the construction of the model. Comparison of prognosis and according to plan values of the area was shown, that plans on 2021-2022 were within the limits of the confidence interval and it will



be executable with the different degree of risk, and plans on 2023-2024 have a maximal level of risk and are is unattainable. They require a revision considering development in the country of pandemic and possible decline of a number of workers in the building of dwellings building due to emigrants.

**Keywords:** design, prognostication, evaluation, regression, coefficient of determination, point and interval estimation

**For citation:** Gerasimenko P.V. Methodology for assessing the risk of not achieving the targets for housing in the context of the pandemic // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 66-74. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_66.

**Information about the author**

*P.V. Gerasimenko* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematics and Modeling, St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (St. Petersburg, Russia), ORCID 0000-0002-7546-661X, Scopus Author ID: 7005769656.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.



Научная статья

УДК 699.88

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_75

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В НЕСУЩИХ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ БАСЕЙНА В ЗДАНИИ

Виктор Александрович Кучеренко<sup>1</sup>, Владимир Леонидович Курбатов<sup>2</sup>,  
Владимир Иванович Римшин<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, г. Минеральные Воды, Россия

<sup>1</sup> kucher-00@list.ru

<sup>2</sup> kurbatov\_bgtu@list.ru

<sup>3</sup> v.rimshin@niisf.ru

**Аннотация.** Определение и устранение неисправностей является важным этапом эксплуатации бассейна. В данной статье будут разобраны причины образования трещин.

**Ключевые слова:** строительство, обследование, бассейн, трещины, конструкции, рекомендации

**Для цитирования:** Кучеренко В.А., Курбатов В.Л., Римшин В.И. Определение причин образования трещин в несущих и ограждающих конструкциях бассейна в здании // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 75-81. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_75.

На примере бассейна здания определены и проанализированы причины образования трещин в несущих и ограждающих конструкциях бассейна, установлены причины протечки гидроизоляционного и облицовочного слоя, изучена работоспособность технологического оборудования системы водоподготовки бассейна, а также будут предложены рекомендации по устранению дефектов. Исследования в данной области изучены и предложены в отечественной и зарубежной печати [3-27].

В наших исследованиях целью предложенного анализа являлось устранение допущенных ошибок при проектировании, комплектации и монтаже технологического оборудования, гидроизоляции и облицовке крытого бассейна.

В ходе научного исследования были произведены визуальное и визуальное-ин-

струментальное обследование объекта, в соответствии с требованиями СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [1], сделаны замеры геометрических характеристик в соответствии с ГОСТ 26433.0-95 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения» [2].

Также выполнен внешний осмотр железобетонной чаши бассейна, с выборочным фиксированием на цифровую камеру поврежденных участков конструкций что соответствует требованиям СП 13-102-2003 [1].

В ходе диагностического обследования чаши бассейна и помещения, выявлены следующие дефекты и повреждения.

Зафиксированы глубокие трещины по подоконному простенку оконного проема



помещения бассейна (наружная стена со стороны улицы № 2 на всю высоту простенков, с развитием трещин по подоконным доскам. Ширина раскрытия трещин составляет 3-6 мм.

Выявлены трещины по углам оконных простенков наружной стены здания со стороны улицы № 3, образовавшиеся в результате неравномерных просадок здания, а также обнаружены дефекты участков стен и перекрытий технического помещения бассейна на участках прохождения трубопроводов водоснабжения и канализации, в виде повреждения отделочного покрытия, набуханий и отслоений защитного слоя ограждающих конструкций.

В результате измерений прочности бетона конструкции бассейна, на доступных для осмотра участках, измерителем прочности бетона ИПС-МГ4.01, класс прочности бетона на сжатие конструкции бассейна составил В 45 ( $R=58,5$  МПа), что соответствует нормативным требованиям предъявляемым к данному типу конструкций.

В ходе обследования экспертами были произведены инженерные геоизыскания основания здания с помощью георадара.

Геофизический комплекс «ЛОЗА-М» (серии «ГРОТ») - переносной импульсный радиолокатор подповерхностного зондирования повышенной мощности с отображением радиолокационных профилей в процессе измерения. Он обеспечивает получение регистрируемого геологического профиля на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ), определение глубины и места залегания подземных неоднородностей, разнообразных предметов и объектов в земле: кабелей, труб, фундаментов, уровней грунтовых вод и границ раздела геологических слоев.

Данный комплекс позволяет осуществлять оперативный неразрушающий контроль подстилающей поверхности при проведении строительных работ, прокладке кабелей и труб, проведении ремонт-

ных работ, а также для использования в археологии и гидрогеологических изысканиях. Георадар обеспечивает высокую точность локализации объектов, предметов и границ раздела геологических слоев и определение глубины залегания, и характер неоднородностей.

Георадары «Лоза» — «ГРОТ» отличаются от отечественных и зарубежных аналогов повышенной мощностью излучения (11 МВт), малым весом (до 10 кг), простотой в обслуживании и возможностью отображения результатов зондирования в процессе измерения. Повышенная мощность передатчика георадара позволяет работать в средах с большим поглощением. Отображение результатов зондирования на встроенном экране делает возможным решение ряда задач на месте, не прибегая к дополнительной обработке данных на компьютере.

Следует отметить, что принцип действия георадара основан на зондировании электромагнитными импульсами земной поверхности на различную глубину и восстановлении картины раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью по отраженному сигналу. В качестве зондирующего импульса в георадаре используется видеоимпульс, который представляет собой несколько колебаний тока в антенне.

Энергия импульса накапливается на конденсаторе, а затем конденсатор через ключевой элемент (газовый разрядник, работающий в режиме самопробоя) соединяется с передающей антенной. В качестве антенны используется резистивно-нагруженные диполи с параметрами, зависящими от условий решаемой задачи.

В результате георадарного обследования на участках основания вдоль фундаментов здания со стороны улицы № 1, Трасса № 1 (рис. 1, 2) зафиксировано изменение физико-механических свойств грунтов на примыкании улицы № 1 и улицы № 2, с появлением зон с увлажненными и разуплотненными грунтами в слое основа-



ния мощностью от 2 до 6 м, расположенном на глубине от 2,0 до 14,0 м относительно поверхности земли. Длина данного участка основания составляет 52,0 - 56,0 м.



Рис. 1. Схема трасс георадарного обследования основания здания на примыкании к помещению бассейна

Зафиксированы изменения в напластованиях инженерно-геологических элементов, характерные для процессов выемки и обратной засыпки грунта, а также искусственного формирования рельефа местности.

В результате георадарного обследования на участках основания вдоль фундаментов здания со стороны улицы № 2, Трасса № 2 (рис. 3) и улицы № 3, Трасса № 3 (рис. 4) зафиксировано наличие водонасыщенных и разуплотненных грунтов в слое основания мощностью 10 м, расположенном на глубине от 2,0 до 12,0 м относительно поверхности земли.

В результате георадарного обследования на участке основания вдоль фундаментов здания на примыкании улицы № 2 и улицы № 3, Трасса №3 зафиксировано изменение плотности грунтов, характерное

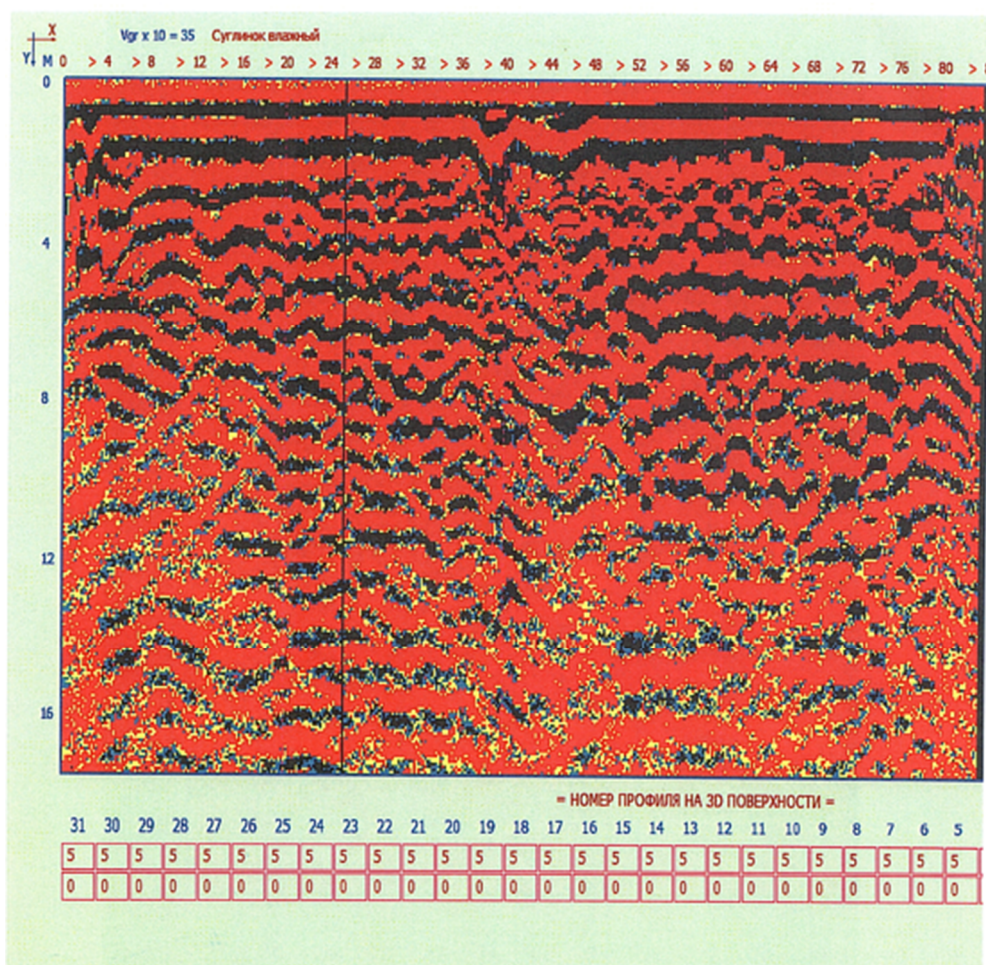


Рис. 2. Обследование основания. Трасса №1  
(вдоль цоколя здания со стороны улицы № 1)



для случаев просадки основания под воздействием нагрузок от опертых на него сооружений.

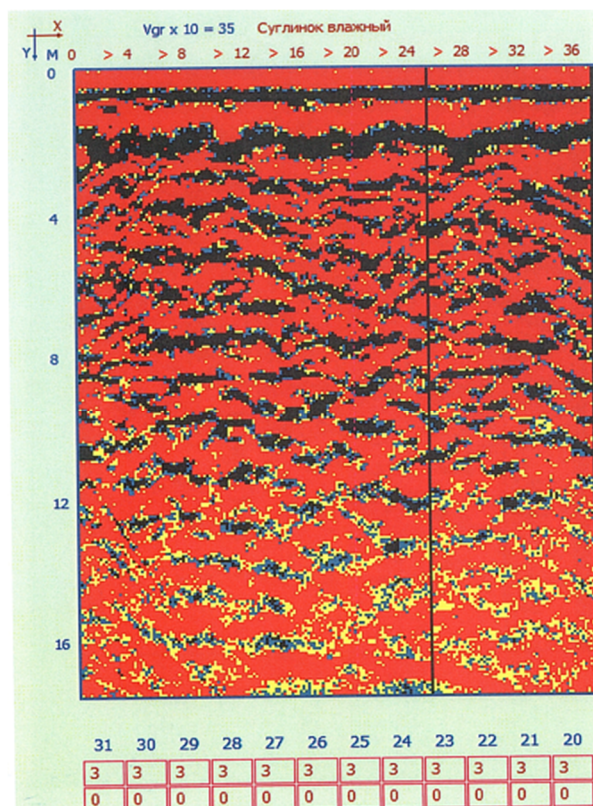


Рис. 3. Обследование основания. Трасса №2 (вдоль цоколя здания со стороны улицы № 2)

Основываясь на результатах георадарного обследования, экспертиза пришла к выводу, что неравномерные просадки основания здания на участках примыкания основания и фундаментов со стороны улиц № 1 и улицы № 3 к улице № 2, являются основной причиной образования трещин по ограждающим конструкциям помещения бассейна, расположенного на 1-м этаже здания.

Выводы по результатам обследования конструкций бассейна:

Целью экспертизы являлось определение причин образования трещин в несущих и ограждающих конструкциях бассейна в здании.

В результате диагностического обследования объекта и экспертного анализа можно прийти к следующим выводам.

1. Зафиксированы следующие основные дефекты несущих и ограждающих конструкций помещения бассейна:

– глубокие трещины шириной раскрытия 3-6 мм по подоконному простенку оконного проема помещения бассейна (наружная стена со стороны улицы № 2), на всю высоту простенков, с развитием трещин по подоконным доскам;

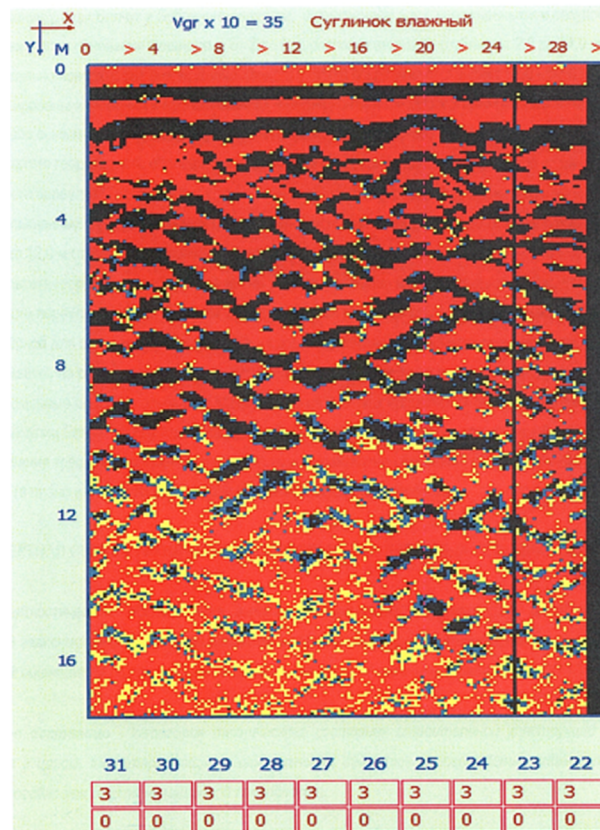


Рис. 4. Обследование основания. Трасса №3 (вдоль цоколя здания со стороны улицы № 3)

– трещины по углам оконных простенков наружной стены здания со стороны улицы № 3, образовавшиеся в результате неравномерных просадок здания;

– дефекты участков стен и перекрытий технического помещения бассейна на участках прохождения трубопроводов водоснабжения и канализации в виде повреждения отделочного покрытия, набуханий и отслоений защитного слоя ограждающих конструкций. Данные дефекты не могут повлиять на несущую способность конструкции бассейна, но требуют устранения для



предупреждения дальнейшего повреждения ограждающих конструкций.

Техническое состояние поврежденной стены помещения бассейна, в соответствии с положениями СП 13-102-2003 [1], оценивается, как граничное между ограниченно работоспособным и недопустимым состояниями, при котором отсутствует опасность внезапного разрушения, при этом необходимо проведение ремонтных и противоаварийных мероприятий.

2. Основной причиной деформации и повреждений ограждающих конструкций помещения бассейна здания с образованием и развитием трещин являются неравномерные просадки основания здания под помещением бассейна, что в виду наличия жесткого соединения конструкции бассейна с несущими и ограждающими конструкциями здания, привело к образованию трещин в наружной стене здания со стороны улицы № 2.

3. Для предотвращения дальнейших деформаций и разрушений несущих и ограждающих конструкций здания необходимо осуществить ремонт участков конструкций с наличием трещин посредством их расшивки и заделки цементным раствором (составами на основе цементного вяжущего) с применением инъекционного метода, а также мероприятия по укреплению основания с целью предотвращения его деформаций и перемещений.

Во избежание возникновения напряженных состояний в несущих и ограждающих конструкциях помещения бассейна, передаваемых от конструкции чаши бассейна и превышающих максимальные воспринимаемые нагрузки, можно рекомендовать выполнить устройство деформационных швов между ограждающими конструкциями помещения и конструкцией чаши бассейна.

#### Список источников

1. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий

и сооружений». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034118>

2. ГОСТ 26433.0-95 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000165>

3. Kuzina E., Rimshin V. Deformation monitoring of road transport structures and facilities using engineering and geodetic techniques // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2017. Т. 692. С. 410-416.

4. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Smirnov V.F., Rimshin V.I., Kurbatov V.L. Bioreistant building composites on the basis of glass wastes // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Т. 12. №1. С. 661-669.

5. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -Vladivostok, 2018. С. 032024.

6. Krishan A.L., Rimshin V.I., Troshkina E.A. Strength of short concrete filled steel tube columns of annular cross section // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Vladivostok, 2018. С. 022062.

7. Kuzina E., Rimshin V., Kurbatov V. The reliability of building structures against power and environmental degradation effects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. -Vladivostok, 2018. С. 042009.

8. Rimshin V.I., Larionov E.A., Erofeev V.T., Kurbatov V.L. Vibrocreep of concrete with a nonuniform stress state // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 11. С. 278-280.

9. Telichenko V., Rimshin V., Eremeev V., Kurbatov V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 02025.

10. Telichenko V., Rimshin V., Kuzina E. Methods for calculating the reinforcement of concrete slabs with carbon composite materials based on the finite element model // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 04061.

11. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with



toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. Т. 33. № 1. С. 1034-1041.

12. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The general theory of degradation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Vladivostok, 2018. С. 022028.

13. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The modulus of elasticity in the theory of degradation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Vladivostok, 2018. С. 022029.

14. Развитие теории деградации бетонного композита / В.И. Римшин [и др.] // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 12-17.

15. Фундаментальные и прикладные исследования проблемы качества выполненных работ (арбитражная практика) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2020. № 4 (7). С. 10-25.

16. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Промышленное и гражданское строительство" направления подготовки дипломированных специалистов "Строительство" – М., 2006.

17. Варламов А.А., Римшин В.И. Модели поведения бетона. Общая теория деградации. – М.: ИНФРА-М, 2019. 436 с. DOI 10.12737/topography5c8a716e3c4460.52838016

18. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Ларионов Е.А., Римшин В.И. К вопросу длительной прочности бетона // Архитектура. Строительство. Образование. 2014. №2(4). С. 32-43.

19. Исследование свойств наполненных составов на активированной воде затворения / В.Т. Ерофеев [и др.] // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 429-431.

20. Курбатов В.Л., Комарова Н.Д., Римшин В.И. Ползучесть цементных бетонов при расчете строительных конструкций // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. №5(981). С. 27-32.

21. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шумилов Е.Ю. Геодезические работы в строительстве Минеральные воды, 2016. Сер. Высшее профессиональное образование

22. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шумилова Е.Ю. Строительно-техническая экспертиза // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 262.

23. Мосаков Б.С., Курбатов В.Л., Римшин В.И. Основы технологической механики тяжелых бетонов - Минеральные Воды, 2017. 210 с.

24. Обследование и испытание зданий и сооружений: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Промышленное и гражданское строительство" направления подготовки "Строительство" / В.Г. Казачек [и др.] – М., 2012. (Изд. 4-е, перераб. и доп.)

25. Римшин В.И., Варламов А.А. Объемные модели упругого поведения композита // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. №3(375). С. 63-68.

26. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5. С. 483-491.

27. Теличенко В.И., Римшин В.И. Критические технологии в строительстве // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. №4. С. 16-18.

### **Информация об авторах**

*В.А. Кучеренко* - студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет;

*В.Л. Курбатов* - доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова;

*В.И. Римшин* - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Вклад авторов: Кучеренко В.А. – 50%, Римшин В.И. – 40%, Курбатов В.Л. – 10%.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.



Original article

## DETERMINING THE CAUSES OF CRACKING IN THE SUPPORTING AND SECURING CONSTRUCTIONS OF THE POOL IN THE BUILDING

Kucherenko Victor Aleksandrovich<sup>1</sup>, Kurbatov Vladimir Leonidovich<sup>2</sup>, Rimshin Vladimir Ivanovich<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> NRU MGSU, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education North Caucasus  
Branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Mineralnye Vody, RF

<sup>1</sup> kucher-00@list.ru

<sup>2</sup> kurbatov\_bgtu@list.ru

<sup>3</sup> v.rimshin@niisf.ru

**Annotation.** Troubleshooting is an important step in the operation of your pool. This article will analyze the reasons for the formation of cracks.

**Keywords:** construction, survey, pool, cracks, structures, recommendations

**For citation:** Kucherenko V.A., Kurbatov V.L., Rimshin V.I. Determining the causes of cracking in the supporting and securing constructions of the pool in the building // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 75-81. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_75.

### **Information about the authors**

V.A. Kucherenko – student, NRU MGSU;

V.L. Kurbatov – Dr. of Economics, Candidate of Technical, Prof., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education North Caucasus Branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov;

V.I. Rimshin – Honored Builder of the Russian Federation, Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., NRU MGSU.

**Contribution of the authors:** Kucherenko V.A. - 50%, Rimshin V.I. - 40%, Kurbatov V.L. - 10%.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.



Научная статья

УДК 69

doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_82

## ГИП – БЕСЦЕННЫЙ АКТИВ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ. РЕЦЕПТЫ УСПЕХА

**Марк Семёнович Подольский**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет,  
Москва, Россия, mprodolskii@inbox.ru

**Аннотация.** В данной работе автор особое внимание уделяет формированию рецептов успеха, защите имиджа и репутации ГИПа – главного инженера проекта, одной из ключевых фигур в активе проектной организации. По мнению автора, проблемы квалификации специалистов и, как следствие, репутации и имиджа, перерастают в комплексную проблему строительной отрасли, от которой полностью зависит результат и качество выполняемых работ.

**Ключевые слова:** ГИП, репутация, квалификация, имидж, проектирование и инженерные изыскания, строительство, строительная отрасль, качество работ, системы менеджмента качества, экспертиза, арбитражная практика, судебное решение

**Для цитирования:** Подольский М.С. Гип – бесценный актив проектной организации. рецепты успеха // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 82-88. doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_82.

### Введение

Признание, соблюдение и защита прав и свобод гражданина – обязанность государства, а их гарантом является Президент Российской Федерации [1].

Актуальность заявленной темы объясняется тем, что репутация и имидж Главного инженера проекта (ГИП), как гражданина РФ, в значительной степени обеспечивают его права и свободы, достойное место в профессиональной среде, внимание работодателей, карьерный рост, величину заработной платы и другие конкурентные преимущества (удобный график, возможность выбора престижных проектов, тип и объем управления субпроектировщиками и т.п.).

ГИП, разумеется, имеет общее представление о важности репутации и имидже, интуитивно внимателен к этим составляющим своей личности и при благоприятном стечении обстоятельств к пятидесяти-шестидесяти годам "нарабатывает" их должный уровень, при котором его право выпол-

нять свои обязанности не ставится под сомнение.

### Из опыта

Наш опыт общения с Главными инженерами проектов молодого и среднего возраста (30-40 лет), а также обсуждение профессиональных проблем на площадке Международной школы Главных инженеров проектов при Национальной палате инженеров позволяют утверждать, что, к сожалению, проблемы репутации и имиджа находятся на периферии как самооценки сегодняшних ГИПов, так и оценок профессионального сообщества. Принцип "само собой разумеется, следует иметь хорошую репутацию", носит декларативный характер: традиции реально формировать репутацию и имидж специалиста на практике не сложились.

ГИП как ключевая фигура процесса проектирования имеет многочисленные контакты с внешними системами (заказ-



чики, субпроектировщики, экспертиза и т.п.), в процессе которых формируется его репутация и имидж, непосредственно влияющие на репутацию проектной организации. Успешные руководители высоко оценивают, в частности, экономический эффект безупречной репутации проектной организации, учатся сами и учат подчиненных относиться к её формированию со всей серьезностью.

Профессиональный успех рассматривается большинством людей как обязательное условие достойной жизни. Оптимальная реализация всех возможных ресурсов личности – гарантия достижения такого успеха. Поэтому представляется важным под этим углом зрения рассмотреть значение таких характеристик, как репутация и имидж, в становлении, функционировании и карьерных продвижениях профессионала.

Следует иметь в виду, что репутация формируется в границах профессии работника, а имидж индивидуален, но инвариантен для работника с любой профессией.

Остановимся на проблеме формирования репутации и имиджа Главного инженера проекта (ГИПа) как ключевой и очень сложной с профессиональной точки зрения фигуры в процессе проектирования.

Репутация ГИПа – субъективное мнение о нем заинтересованных сторон (в нашем случае это заказчики, аутсорсеры, поставщики продукции (услуг), население территорий, где реализуется продукция (услуги), банки, страховые компании, акционеры, Советы директоров, персонал проектной организации, администрация регионов, лидеры общественного мнения, инспектирующие организации, согласующие организации, конкуренты, партнеры, спонсоры и т.п.). Это мнение складывается из оценки разными людьми его компетентности (в рамках выполнения должностных обязанностей), в которой доминирует конкретная оценка профессионализма ГИПа.

Имидж ГИПа (для целей настоящей статьи мы сократили определение понятия)

– совокупность не только рациональных, но и эмоциональных представлений, формирующих у заинтересованных сторон его образ в процессе взаимоотношений. При этом личные качества часто выходят на первый план и являются решающими, определяют либо заинтересованное благожелательное внимание, либо недоверие и отторжение, часто непреодолимые.

Репутация является фундаментальной частью личности ГИПа, её годами нарабатывают, она кажется очень прочной. Однако имидж, который постоянно формируется, изменяется, имеет текучую природу, способен эту репутацию разрушить непоправимо.

Имидж позволяет идентифицировать любого члена социума по выработанным этим социумом критериям. Имидж ГИПа формируется в профессиональной среде по таким же правилам. Важно ориентироваться на эти правила и создавать предпосылки для создания своего благоприятного имиджа, т.е. управлять его формированием, добиваться позитивного восприятия собственной личности заинтересованными сторонами.

Репутацию от имиджа достаточно просто отличить. Например, "ГИП – крепкий профессионал" – это репутация, а "ГИП, которому всегда не везет" – это имидж. "ГИП - компетентный специалист" – это репутация, а "ГИП - эмоционально неуравновешенный человек" – это имидж.

Иногда Главному инженеру проектов с плохой деловой репутацией удастся, к сожалению, имитировать имидж успешного специалиста, что объективно очень вредит делу. С другой стороны, у ГИПа может быть отличная репутация и при этом имидж специалиста, с которым не следует иметь дела, которому, например, нельзя доверять. Главному инженеру проектов, естественно, представляется это несправедливым, мешает ему работать, однако такова логика жизни: нельзя недооценивать ошибки и просчеты в личном поведении, оправдываемые зачастую особенностями характера.



Опыт показывает, что ГИПы готовы согласиться с необходимостью целенаправленного влияния на формирование собственной репутации, управление ею. Репутация воспринимается ГИПом как нечто имеющее фактические параметры, она конкретна. Но относительно имиджа согласиться с понятием "управление" большинство ГИПов не готовы. Это объяснимо. Имидж – понятие ситуационное, тактическое, избилующее эмоциональными характеристиками, его можно поменять, подкорректировать. Но как им управлять? Имидж, конечно, уязвим, личностное начало делает его хрупким. Нередки случаи, когда сформированный годами положительный имидж разрушается одномоментно. Профессиональные потери, связанные с отрицательным восприятием образа ГИПа, бывает трудно, или почти невозможно исправить. Поэтому снова возвращаемся к обоснованию необходимости управлять формированием оценки ГИПа заинтересованными сторонами, т.е. репутацией и имиджем, целенаправленно и постоянно. Подчеркнем еще раз, репутация и имидж – важнейшие оценки ГИПа заинтересованными сторонами, но управлять этими оценками должен сам ГИП.

Важно осознать, что репутация и имидж – это сложные системы, для управления которыми нужно иметь необходимые ресурсы и компетенции и ставить четкие целевые ориентиры. Репутацию и имидж нужно формировать, защищать и отслеживать индикаторы, которые дают представление об успехах и неудачах в этой деятельности. Существуют соответствующие техники и инструменты.

### Управление репутацией

**Формирование репутации.** Репутация Главного инженера проектов зависит от качества, сроков и цены проектной (рабочей) документации, выполнение которой он организует. "Управление" в данном случае означает, что ГИП предпринимает действия

(планирует, выполняет, контролирует), направленные на реализацию процессов, которые влияют на его репутацию.

К этим процессам относятся:

- соответствие ГИПа квалификации, установленной ст. 55.5-1 ГрК РФ [2], профессиональными и квалификационными стандартами для специалистов в сфере инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования;

- качественное выполнение должностных обязанностей, перечень которых определен Квалификационным стандартом саморегулируемых организаций членов НО-ПРИЗ (ФЗ от 3.07.2016 № 372), а также профессиональным стандартом, утвержденным Приказом Минтруда и соцзащиты РФ от 19.04.2021 г. № 257н [3] и др.;

- целевое повышение удовлетворенности заказчиков (делать лучше, чем заказчик ожидает, ГОСТ Р ИСО 9001-2015);

- систематическое самообразование, приобретение знаний по экономике проектирования, строительства и эксплуатации построенных объектов, а также из смежных областей (технология проектируемых объектов, архитектурные и конструкторские разделы, санитарно-технические, электро-технические и т.п.);

- обеспечение положительных рекомендаций (подписание рекомендательных писем) коллег работодателям или заинтересованным сторонам.

**Защита репутации.** Защищать профессиональную репутацию следует немедленно, обязательно здесь и сейчас. Предположим, что ГИП допустил ошибку. В этом случае рекомендуется быстрое реагирование: личная встреча с коллегами, от мнения которых зависит репутация ГИПа, с признанием своей ошибки, выражением сожаления о случившемся, извинениями и заверением, что это не повторится; с целью недопущения вторичного "прокола" – осуществление необходимых корректирующих действий, "извлечение уроков", ведение реестра своих и чужих ошибок [см. практику, 4 – 7].



Пример другого рода: кто-то умышленно или не умышленно распространяет негативное мнение о ГИПе или порочащие его слухи. Следует быстро оценить значимость негативной информации и аудиторию её распространения. В зависимости от степени возможных негативных для репутации последствий можно просто не обратить внимания, но для себя зафиксировать происшедшее с целью недопущения повторений; в более сложных случаях полезно инициировать совещание с участниками эпизода и четко дезавуировать информацию; в случае её "закрепления" и явного вреда для репутации ГИПа – использовать СМИ, Интернет, суд и т.д. Важно не вовлекаться в длительные разборки, инициированные либо сутяжниками, либо недоброжелателями. Подобные эпизоды должны быть на периферии основной производственной деятельности ГИПа. Лучшей формой защиты репутации является документальное подтверждение качества выполненной работы, в том числе: реализованные проекты, построенные по проектам объекты, отзывы заказчиков, рецензии, положительные заключения экспертизы, решения (протоколы совещаний, конференций, "круглых столов" и т.п.), предисловия коллег к монографиям, методическим документам, отчетам и т.п., ссылки коллег на работы ГИПа (цитирование), грамоты, дипломы профессиональных конкурсов, и благодарственные письма (т.е. формирование личного портфолио).

#### **Управление имиджем**

Кропотливая работа над собой, систематические занятия физической культурой и физические упражнения вносят основной вклад в *здоровый образ жизни каждого человека*, так как движение – ключ к успешному формированию как имиджа ГИПа, так и позитивных результатов от производственной деятельности в ходе, планирования, выполнения, контроля процессов проектирования.

Можно выделить до трех десятков таких процессов. Мы предложили в данной статье несколько рекомендаций для одного из них, чтобы проиллюстрировать наш подход к этой важной проблеме. Более полно и системно тема имиджа ГИПа представлена в новом методическом документе Консультационного центра Марка ПОДОЛЬСКОГО "ЦНИО-проект" [8].

#### **Мотивационное управленческое общение**

В общении Главного инженера проектов с подчинёнными значительная часть коммуникаций приходится на долю замечаний по качеству, срокам и цене проектной (рабочей) документации, по недостаткам в процессе проектирования (примерно, 50%-60%). В таком управленческом общении в значительной степени формируется и "работает" имидж ГИПа. В зависимости от того, КАК Главный инженер проекта делает замечания, в какой форме и когда это происходит, подчиненный или позитивно воспринимает замечание, благодарен Главному инженеру проектов, осознано исправляет ошибку и продолжает работать в благоприятном психологическом климате, или подозрительно реагирует на замечание, в явной или не явной форме сопротивляется, отрицательно воспринимает ГИПа, чувствует себя униженным и оскорбленным. Этого не происходит, если ГИП не делает замечания в тот момент, когда обнаружил ошибку, и откладывает разговор на следующий день, не делает замечания, находясь в раздраженном состоянии, опирается только на факты, избегая озвучивать мнения и точки зрения иных лиц, если не напоминает "к случаю" другие оплошности подчиненного по типу "вот так вы всегда" и т.п. Тональность мотивационного управленческого общения по должности полностью определяется ГИПом и является важной составляющей его имиджа.



### Защита имиджа

Имиджу ГИПа по разным причинам может угрожать, например, клевета, как результат конкурентного соперничества, зависти или ревности. В любом коллективе встречаются персонажи, которые реализуются через ложь, сплетни, передачу непроверенной информации, просто получают удовольствие от того, что делают кому-то гадость, и охотно присоединяются к любой форме нападок на успешного коллегу. Совет относиться к этому с юмором носит формальный характер. Разумеется, правильно не втягиваться в опровержение клеветы, что воспринимается как оправдание. Однако в подобных ситуациях трудно избежать имиджевых потерь. Идеальная рекомендация – заблаговременно диагностировать возможные неприятности, что в рабочем порядке, как правило, не удается. И все-таки клевету нужно опровергать, адресуясь не к клеветникам, а к той аудитории, которая важна для ГИПа и для его дела. Утешением может служить очевидное: ложь и клевета – спутники любого успеха. Если на вас набрасываются с ложью и клеветой, это доказывает, что вы успешный.

Ещё один важный аспект в проблеме, которой посвящена настоящая статья, относится к действиям самой проектной организации (ПО), где ГИП выполняет свои обязанности по организации процесса проектирования. Работодатель должен не просто четко и однозначно ОПРЕДЕЛИТЬ обязанности и полномочия ГИПа, но также четко и однозначно ОПРЕДЕЛИТЬ, и СОБЛЮДАТЬ условия, которые он должен сам создать и без которых ГИП не может в полной мере функционировать и, как следствие, формировать свою репутацию и имидж. Другими словами, работодатель не должен "подставлять" ГИПа при общении его с заинтересованными сторонами, дезавуировать обещания ГИПа, пренебрежительно отзываться о нем, публично сравнивать его с другими коллегами (не в пользу ГИПа) и т.п.

Значение вклада имиджа ГИПа в имиджевый капитал проектной организации (ПО) трудно переоценить. Функционируя, в том числе в пространстве публичных коммуникаций ПО из своего нематериального имиджевого капитала извлекает вполне ощутимую экономическую выгоду за счет реализации конкурентных преимуществ высокой репутации и достойного имиджа.

### Заключение

Способность к самодисциплине и адекватной самооценке – одна из важнейших составляющих положительной характеристики человека. Быть образцом, примером для окружающих, особенно в созидательной деятельности и в оперативном решении вопросов, быть требовательным к себе и подчиненным. Практика показывает, что люди, наделенные такой способностью, самыми значимыми собственными свойствами называют профессиональную компетентность, умение строить правильные отношения с людьми, работать в "команде" и в необходимых случаях идти на компромиссы, даже значительные. Именно эти профессиональные и личные качества в первую очередь формируют имидж. К этому мы добавим честность, оптимистический настрой, уверенность в успехе, если работа начата, способность подчеркнуть и оценить свои и чужие достижения, доброжелательность и чувство собственного достоинства. Человек с положительным имиджем буквально заражает окружающих настроением успеха и удачи. Он контролирует свое поведение, умеет не попадать в ситуации, которые плохо заканчиваются, избегает ситуаций, в которых может показаться окружающим невезучим, не присоединяется к коллективной травле негодных, не заикливается на мелочах. Противоположный пример: на предприятии проверяют время прихода персонала на работу, делается это периодически, но кто-то обязательно попадает в эту периодичность, хотя во всех остальных случаях приходит на работу вовремя; в его принтере



в самое неподходящее время заканчивается картридж, а в телефоне – деньги; сам телефон может оказаться не заряженным, а денег до зарплаты всегда не хватает, и занимает он их регулярно. Все неприятности, даже самые незначительные, он подробно обсуждает, почти смакует, жалуясь на несправедливость судьбы и людей. Даже если нет серьезных претензий к его деловым качествам, премиями, повышением по службе его обходят: человек воспринимается как неприятный даже руководству.

Положительный имидж специалиста–профессионала – важнейшее конкурентное преимущество. Имидж надо строить, создавать, улучшать, сохранять. Это серьезная цель среди других целей личности.

Цель создания имиджа – досье успехов, в котором отражается все интересное и достойное из того, что происходит в жизни специалиста–профессионала. Портфолио в век технологий информационного моделирования – это как минимум, персональный сайт или блог ГИПа. Он не только информирует Ваших клиентов, но и демонстрирует в динамике жизненного пути наиболее значимые результаты практической деятельности, необходимые для оценки профессиональной компетенции ГИПа, такие как реализованные проекты, участия в профессиональных конкурсах. Личное портфолио позволяет профессионалу обобщить и систематизировать результаты своей работы, проанализировать и объективно оценить свои профессиональные достижения и возможности для планирования дальнейших действий по достижению более высоких результатов\*.

Цель предполагает в первую очередь работу над собой, ведет к таким изменениям в поведении человека, которые социум оценит, как полезный для себя, что в конечном счете определит достойную судьбу обладателя крепкого физического здоровья и позитивных качеств.

Убежден, что в большинстве жизненных случаев, только ведущий здоровы образ жизни, дисциплинированный, требовательный, успешный, организатор деятельности коллектива – ГИП обеспечивает в результате своевременно и высоко качественную продукцию.

#### Список источников

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020)
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2021).
3. Приказ от 19 апреля 2021 г. № 257н Министерства труда и социальной защиты РФ. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по организации архитектурно-строительного проектирования».
4. Фундаментальные и прикладные исследования проблемы качества выполненных работ (арбитражная практика) / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2020 № 4 (7). С. 10-25.
5. Экспертные исследования по определению качества строительной продукции в рамках арбитражного судопроизводства / С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2020 № 5 (8). С. 9-14.
6. Строительном контроль, как правовое средство, обеспечивающее надлежащее исполнение подрядных работ / С.М. Анпилов, А.В. Михайлов, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2021 № 2 (11). С.77-91.
7. О строительном контроле. По материалам судебной практики. Часть 1 / С.М. Анпилов, А.Н. Федорова, А.Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. 2021 № 6 (15). С.77-86.
8. Подольский М.С. Как формировать и защищать репутацию ГИПа – конкурентный актив проектной организации. Рекомендации. // Справочник проектировщика. Выпуск 57. - М: Консультационный центр Марка Подольского "ЦНИО-проект"», 2021. 27 с.

\* Смотрите, например, сайты: <https://www.anpilovsm.com>; <http://asadov.ru>; <http://www.totan.ru> и др.



**Информация об авторе**

*М.С. Подольский* - научный руководитель Международной школы Главных инженеров (Главных архитекторов) проектов при Национальной палате инженеров, аудитор систем качества, Русский Регистр, Технический эксперт по системе менеджмента качества в проектировании и строительстве TUV-CERT, член Комитета по инжинирингу и малому предпринимательству НОПРИЗ, кандидат экономических наук Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 17.01.2022; принята к публикации 17.01.2022.

Original article

**CHIEF PROJECT ENGINEER - PRICELESS ASSET  
OF THE PROJECT ORGANIZATION. RECIPES FOR SUCCESS**

**Mark Semenovich Podolsky<sup>3</sup>**

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, Moscow, Russia,  
mpodolskii@inbox.ru

**Annotation.** In this work, the author pays special attention to the creation of recipes of success, protection of the image, and reputation of the project's chief engineer - one of the key figures of the project organization. According to the author, problems of qualification of specialists and, as a consequence, reputation and image, turn into a complex problem of the construction industry, on which the result and quality of the works are completely dependent.

**Keywords:** chief project engineer, reputation, qualification, image, design and engineering research, construction, construction sphere, quality of works, quality management systems, expertise, arbitration practice, judicial decision

**For citation:** Podolskiy M.S. Chief project engineer - priceless asset of the project organization. Recipes for success // Expert: theory and practice. 2022. No. 1 (16). Pp. 82-88. (In Russ.). doi:10.51608/26867818\_2022\_1\_82.

**Information about the authors**

*M.S. Podolskiy* - Candidate of Economic Sciences, Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (Moscow, Russia).

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 17.01.2022; accepted for publication 17.01.2022.

# ОБЩЕПРИНЯТЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНОЙ СТАТЬЕ

## Метаданные

## Комментарии

Заголовок (Title)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объем – 10-12 слов.</li> <li>• Содержит основные ключевые слова, нельзя использовать аббревиатуры и формулы.</li> </ul>	
Сведения об авторах (Information about authors)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Содержат ФИО и аффилиации авторов.</li> <li>• Очередность упоминания авторов зависит от их вклада в выполненную работу.</li> <li>• В аффилиации указываются организация, город, страна.</li> <li>• Название организации (рус./англ.) должно совпадать с названием в ее уставе.</li> <li>• При транслитерации ФИО автор должен придерживаться единообразного их написания во всех статьях.</li> </ul>	
Аннотация (Abstract)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объем – 150-200 слов.</li> <li>• Отражает актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы.</li> </ul>	
Ключевые слова (Keywords)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объем – 8-10 слов и словосочетаний.</li> <li>• Отражает специфику темы, объект и результаты исследования.</li> </ul>	
Основные положения (Highlights)	Содержат 3-5 пунктов маркированного списка, кратко отражающих ключевые результаты исследования.	
Текст статьи	Введение (Introduction)	Представляет актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
	Методы (Materials and Methods)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи.</li> <li>• Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.</li> </ul>
	Результаты (Results)	Излагают фактические результаты исследования (текст, таблицы, рисунки, формулы).
	Обсуждение (Discussion)	Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: <ul style="list-style-type: none"> <li>• соответствие полученных результатов гипотезе исследования;</li> <li>• ограничения исследования и обобщение его результатов;</li> <li>• предложения по практическому применению;</li> <li>• предложения по направлению будущих исследований.</li> </ul>
	Заключение (Conclusion)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
Благодарности (Acknowledgements)	Автор выражает: <ul style="list-style-type: none"> <li>• признательность коллегам за помощь;</li> <li>• благодарность за финансовую поддержку исследования.</li> </ul>	
Список источников (References)	Содержит только источники, используемые при подготовке статьи и оформленные в соответствии со стандартом, принятым в издательстве.	

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ в журнале “ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА”

---

Материал статьи присылать в программе **Word** на электронную почту **expert763@mail.ru**. В статье должны быть указаны на русском и английских языках УДК, сведения об авторе: фамилия, полное имя и отчество, ученая степень, ученое звание, места работы и (или) учебы, его e-mail и номер телефона, аннотация, ключевые слова, основные положения. Обязательны ссылки на литературу (библиографические ссылки или сноски) в конце статьи. Подробные правила приема и рецензирования статей, рубрикация журналов представлены на сайте <https://www.expert763.ru>

❖ *Порядок оформления 1-й страницы статьи*

УДК – **размещать по левому краю**

название статьи (и другие заголовки) – **размещать по центру**

инициалы, фамилия автора – **размещать по правому краю после названия статьи**

фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, }  
должность, название организации, электронный адрес } **размещать внизу (под текстом)**

❖ *Параметры страниц*

слева            3 см

справа          2 см

вверху          2,5 см

внизу            2,5 см

❖ *Набор текста*

тип шрифта        **Таймс**

размер шрифта    **14 пт**

абзацный отступ    0,5 см

(установить через окно “Абзац”,  
**не пробелами и не табуляцией**)  
межстрочный интервал “Полуторный”

❖ *Набор таблиц*

тип шрифта                            **Таймс**

размер шрифта                        **13пт**

линейки внешние (рамка)    1,5 пт

линейки внутренние                0,75 пт

❖ *Набор формул*

в редакции формул – **Word**

все символы курсивным шрифтом,  
цифры – прямым

❖ *Набор ссылок на литературу  
(сноски)*

**размещение в конце статьи**

тип шрифта                            **Таймс**

размер шрифта                        **13пт**



**Запрещается вставлять в статью сканированные рисунки (графики, диаграммы) и другие неизменяемые объекты**

**Использовать стиль “Normal” или шаблон “Обычный”**

**Статьи, оформленные не по правилам, редколлегией рассматриваться не будут**

Научно-практический журнал

**ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**  
**№ 1 (16) 2022 г.**

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

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

Дата выхода в свет 31.01.2022. Формат 60x84/8.  
Бумага офсетная. Печать оперативная.  
Уч.-изд. л. 9,97. Усл.-печ. л. 10,7 (11,5). Тираж 1000 экз. Первый завод 100 экз.  
Распространяется бесплатно. Заказ № 340.

Издатель - АНО "ИССТЭ".  
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401.

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО "СГЭУ".  
443090, Самарская область, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141.

Scientific and Practical Journal

**EXPERT: THEORY AND PRACTICE**  
**№ 1 (16) 2022**

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

Approved for publication 31.01.2022. Format 60x84/8. Offset paper.

Type "Calibri Light". Offset printing.

Publisher's signatures 9,97. Printed signatures 10,7 (11,5).

Circulation 1000 copies.

Publishing house INO "IFCTE".  
445047, office 401, the house 35A, Southern Highway,  
Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru

Printed in the Printing House of Samara State University of Economics.  
443090, Samara, ulitsa Sovetskoi Armii, 141.