

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№3 (119) 2025

Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of engineering
constructions. Construction
design

Безопасность зданий
и сооружений

Building and structure
safety

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban

Строительные материалы
и технологии

Building
materials



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Главный редактор:
Колчунов В.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Заместители главного редактора:
Гордон В.А., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Коробко В.И., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Савин С.Ю., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*
Финадеева Е.А., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

Редакция:
Акимов П.А., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Бакаева Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Бок Т., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*
Булгаков А.Г., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*
Ерофеев В.Т., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Есаулов Г.В., *акад. РААСН, д-р арх., проф. (Россия)*
Карпенко Н.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Колесникова Т.Н., *д-р арх., проф. (Россия)*
Колчунов В.И., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Коробко А.В., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Король Е.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Кривошапко С.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Кудряшов Н.Н., *канд. арх., проф. (Россия)*
Лефай З., *д-р техн. наук, проф. (Франция)*

Мелькумов В.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Орлович Р.Б., *д-р техн. наук, проф. (Польша)*
Птичкина Г.А., *д-р арх., проф. (Россия)*

Роболж Д., *д-р техн. наук, проф. (Словения)*
Римшин В.И., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Тамразян А.Г., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Травуш В.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Трещев А.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Тур В.В., *д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)*
Федоров В.С., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Федорова Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Шах Р., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

Исполнительный редактор:

Амелина М.А., *(Россия)*
Адрес редакции:
302030, Орловская обл., г. Орёл,
ул. Московская, д. 77.
Тел.: +79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169
от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**
по объединенному каталогу «Пресса России»
на сайтах www.pressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Курбацкий Е.Н., Пестрякова Е.А., Хуссейн А.Ш.** Оценка влияния
поверхностных слоёв грунта с нелинейными свойствами на
параметры спектров максимальных реакций 7
- Меркулов С.И.** Экспериментальные исследования железобетонных
конструкций составного сечения при внецентренном сжатии 22
- Никифоров С. В., Терновский М.В.** Контроль термонапряженного
состояния при бетонировании массивных конструкций фундаментов
высотных зданий 30
- Себешев В.Г., Люфт Н.А., Гербер Ю.А.** Метод расчета параметров
комплексов динамических гасителей колебаний как регуляторов
напряженно-деформированного состояния сооружений и конструкций
при полигармонических воздействиях 45
- Смирнов В.А.** Идентификация параметров вязкоупругих материалов
по результатам DMA-анализа 60

Безопасность зданий и сооружений

- Колчунов В.И., Ильюшенко Т.А., Федоров С.С.** Деформирование
бетона железобетонной рамы в запредельном состоянии 73
- Мацевич Т.А., Данков С.А.** Влияние коррозии на физико-
механические свойства стальных элементов 86
- Тамразян А.Г., Садоян Г.А.** Несущая способность изгибаемых
железобетонных плит при местных изменениях прочности бетона 99
- Федоров В.С., Левитский В.Е.** Развитие методологии исследования
влияния температуры на механические свойства бетона 111

Строительные материалы и технологии

- Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И.**
Деформативность дисперсно армированного керамзитобетона под
нагрузкой 120
- Черкасов В.Д., Бородин А.В.** Влияние технологических добавок на
адгезионные свойства герметика 129

Editor-in-Chief
Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Editor-in-Chief Assistants:
Gordon V.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korobko V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Savin S.Yu., candidate sc. tech., docent (Russia)
Finadeeva E.A., candidate sc. tech., docent (Russia)

Editorial Board
Akimov P.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Bakaeva N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Bock T., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Bulgakov A.G., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Erofeev V.T., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Esaulov G.V., doc. arc., prof. (Russia)
Karpenko N.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)
Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Kudryashov N.N., candidate arc., prof. (Russia)
Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)
Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)
Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)
Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)
Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Treschev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)
Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:
Amelina M.A., (Russia)

The edition address:
302030, Oryol region., Oryol,
Moskovskaya Street, 77
+79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for monitoring communications, information technology and mass communications
The certificate of registration:
ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»
86294 on the websites www.pressa-ru.ru and
www.akc.ru

© Orel State University, 2025

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Kurbatsky E.N., Pestriakova E.A., Hussein A.S. Assessment of the influence of surface soil layers with nonlinear properties on the parameters of maximum response spectra.....	7
Merkulov S.I. Experimental researches reinforced concrete constructions composite section with off-center compression.....	22
Nikiforov S. V., Ternovskiy M. V. Monitoring thermal stress state during concreting of massive foundation structures for high-rise buildings.....	30
Sebeshev V.G., Lyuft N.A., Gerber Yu.A. Method for calculation parameters of dynamic vibration dampers' complexes as regulators of structures' and constructions' stress-strain state under polyharmonic excitations	45
Smirnov V.A. Identification of viscoelastic material parameters based on DMA analysis results.....	60

Building and structure safety

Kolchunov V.I., Iliushchenko T.A., Fedorov S.S. Deformation of concrete of a reinforced concrete frame in the ultimate state.....	73
Matseevich T.A., Dankov S.A. Influence of corrosion on physical and mechanical properties of elements of truss structures.....	86
Tamrazyan A.G., Sadoyan H.A. Load-bearing capacity of flexible reinforced concrete slabs with local changes in concrete strength.....	99
Fedorov V.S., Levitsky V.E. Development of methodology for studying the effect of temperature on the mechanical properties of concrete.....	111

Construction materials and technologies

Pukharensko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Deformability of dispersed reinforced expanded clay concrete under load.....	120
Cherkasov V.D., Borodin A.V. Influence of technological additives on the adhesive properties of sealant.....	129

Виталий Михайлович Бондаренко родился 22 июня 1925 года в г. Харьков, в семье видного деятеля Советской Украины, председателя Совета Народных Комиссаров СССР Бондаренко Михаила Ильича.

В 1940 году В.М. Бондаренко поступил в Харьковский архитектурно-строительный техникум. В день 16-летия Виталия Михайловича - 22 июня 1941 года, началась Великая Отечественная война. В 1942 году, когда В.М. Бондаренко исполнилось 17 лет, он пошёл добровольцем в Красную армию. Его трудный и героический путь на передовой фронта начинался в качестве рядового сапера и завершился участием в Берлинской и Пражской операциях. За время войны был четырежды ранен и был награждён боевыми орденами и медалями. В 1945 году В.М. Бондаренко вернулся в г. Харьков, продолжил свою учёбу в строительном техникуме и стал активно работать в отрасли - послевоенном восстановлении разрушенных объектов. После окончания техникума в 1946 году параллельно с работой мастером на заводе «Запорожсталь» поступил в Харьковский инженерно-строительный институт (ХИСИ), который с отличием окончил в 1952 году. После окончания института по распределению был направлен в г. Краснодар. Работая здесь, В.М. Бондаренко прошёл профессиональный путь от рядового до главного инженера треста «Краснодоншахтстрой». Затем, после переезда в родной город Харьков, работал главным инженером строительного комбината Мингорсельстрой.



Последствия тяжелых ранений сказывались на состоянии здоровья Виталия Михайловича и не позволили ему продолжать практическую профессиональную деятельность. Поэтому им было принято решение о переходе на работу преподавателем в Харьковский инженерно-строительный институт, что в дальнейшем и определило всю его судьбу и всю его деятельность как будущего крупного ученого. Огромный жизненный и практический опыт, желание увлеченно заниматься научно-исследовательской деятельностью привели его сначала к защите кандидатской (1961 год), а через восемь лет и докторской (1969 год) диссертации. В институте он прошел путь доцента, профессора, заведующего кафедрой, проректора по научной работе ХИСИ.

В 1972 году по назначению Правительства СССР В.М. Бондаренко переходит на работу директором Всесоюзного отраслевого проектно - научного исследовательского института (Гидронисельхоз) в г. Москве. Под руководством Виталия Михайловича институт стал ведущим проектно-исследовательским институтом в области исследований и проектирования зданий и сооружений сельскохозяйственной инфраструктуры. С 1976 по 2013 год преподавал во Всесоюзном заочном инженерно-строительном институте (ВЗИСИ), преобразованном в Московский институт коммунального хозяйства и строительства (МГАКХиС), где занимал должности заведующего кафедрой, проректора по учебной работе. В 1992 году В.М. Бондаренко одним из первых был избран действительным членом-академиком воссозданной Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). Затем с 1994-го по 1999-й год был вице-президентом РААСН и председателем Ученого совета отделения строительных наук.

Многогранна была научно-творческая и научно-педагогическая деятельность В.М. Бондаренко. Отмечая основные направления его научных исследований, можно назвать создание диссипативной теории силового сопротивления железобетонных конструкций, обобщенную затем в теорию конструктивной безопасности сооружений. Им сформулированы и решены ряд новых актуальных задач теории ползучести материалов, а также задач управления напряженным состоянием конструкций. Академик РААСН В.М. Бондаренко является основателем и руководителем научной школы «Теория силового сопротивления, конструктивная безопасность и оптимизация технологического энергопотребления зданий и сооружений». Им опубликовано 12 монографий и учебников, известных широкой научной общественности, более 400 научных статей по теории железобетона и проблеме безопасности сооружений, подготовлено более двадцати докторов и кандидатов технических наук.

В.М. Бондаренко был руководителем с советской и позднее российской стороны целого ряда совместных образовательных и научных программ с Италией, Швецией, странами Восточной Европы. Он принимал активное участие в научном сопровождении при проектировании и строительстве многих важных объектов СССР и России, в их числе храма Христа Спасителя, комплекса подземных сооружений на Манежной площади, покрытия Большой спортивной арены стадиона в Лужниках, Лефортовского тоннеля, 3-го городского транспортного кольца Москвы и других.

В своей научной деятельности Виталий Михайлович Бондаренко опирался на научные достижения предыдущих поколений, творчески их анализировал. Он требовательно и внимательно относился к формирующимся молодым ученым - настойчиво рекомендовал глубоко изучать предшественников в исследуемой области знаний, негативно воспринимал поверхностное отношение отдельных молодых ученых к научным исследованиям и иногда даже говорил «вы ничего не читаете». Приветствовал глубину профессиональных знаний, точность и аккуратность в суждениях, никогда не опаздывал и негативно относился к опозданиям других.

Более тридцати лет доктор технических наук, профессор В.М. Бондаренко был членом экспертного совета ВАК России по строительству, где требовательно, но доброжелательно рассматривал аттестационные дела и диссертационные работы соискателей ученых степеней. При этом всегда подчеркивая, что члены экспертного совета ВАК ответственны перед государством за будущее науки и строительной отрасли. За свой ратный и многолетний добросовестный труд, научную деятельность во благо Отечества Виталий Михайлович был удостоен многих орденов и медалей: Орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (13 апреля 2005 года), Орден Почёта (26 июня 1995 года), Орден Ленина, Орден Трудового Красного Знамени, Орден Отечественной войны I степени, два ордена Красной Звезды, Орден «Знак Почёта», Орден «За личное мужество», две медали «За отвагу» и других, а также ряда званий: Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, Почётный строитель России, Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации и др.

В.М. Бондаренко, как гражданин, ученый видел свою задачу в необходимости вселить в современников и особенно молодежь, веру и любовь в свою страну, в свое будущее, доказать необходимость самоотверженной борьбы за её суверенитет и благополучие. Его жизнь и пройденный им путь солдата, ученого, педагога, строителя безусловно является ярким примером служения своему Отечеству.

Редакция научно-технического журнала «Строительство и реконструкция»

7 июля 2025 г. исполняется 96 лет со дня рождения выдающегося ученого в области строительных наук, основоположника направления «Строительная акустика» в СССР и РФ, Заслуженного деятеля науки и техники СССР, лауреата Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, Почетного строителя РФ, академика Российской академии архитектуры и строительных наук, доктора технических наук, профессора Георгия Львовича Осипова.

Г.Л. Осипов родился 7 июля 1929 года в Москве в семье служащих.

В 1947 году, после окончания средней школы Георгий Львович в 1947 г. поступил в Московский строительный институт на факультет промышленного и гражданского строительства. Окончив в 1952 г. с красным дипломом институт и получив специальность инженера-строителя,



Георгий Львович в 1953 г. поступил в очную аспирантуру Научно-исследовательского института строительной техники (ныне Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН). В 1959 году он успешно защитил кандидатскую по проблеме исследования звукоизолирующих свойств строительных конструкций и разработке методов их расчета, а затем, в 1977 г., защитил и докторскую диссертацию по вопросам комплексной защиты жилой застройки и городской среды от неблагоприятного воздействия транспортных и промышленных шумов. Начиная с 1953 года и до конца жизни, в течение 56 лет Георгий Львович весь свой талант, творческие и душевные силы отдавал НИИСФ. За эти годы Георгий Львович прошел путь от младшего научного сотрудника до директора института. В 1988 году он был избран решением коллектива института директором, в должности которого проработал до конца жизни.

Основные направления деятельности Георгия Львовича как ученого связаны с изучением закономерностей распространения шума в помещениях зданий и на территории, методами его измерения, с разработкой методов расчета, проектирования и контроля средств защиты от шума и обеспечения акустического благоустройства в помещениях жилых, общественных и промышленных зданий и на территории жилой застройки. Он основал и успешно развивал новое научное направление, связанное с одной из самых актуальных проблем современности – защитой помещений жилых общественных и промышленных зданий и территорий застройки от вредных физических воздействий окружающей среды. Выполненные им многочисленные теоретические и научно-практические исследования внесли значительный фундаментальный вклад в развитие различных областей строительной физики, содержат принципиально новые оригинальные теоретические и практические идеи, существенным образом решающие энерго-экологические проблемы строительной физики.

Результаты исследований, выполненных академиком Г.Л. Осиповым, нашли широкое практическое применение как в строительной практике, так и в дальнейших научных исследованиях Института строительной физики и других многочисленных научных организаций. В частности, работы сотрудников НИИСФ РААСН, выполненные под руководством и при личном участии Г.Л. Осипова, позволили

успешно защитить от внешних и внутренних шумов и обеспечить высокое акустическое качество в помещениях таких уникальных объектов как храм Христа Спасителя, Старый Гостиный двор, Исторический музей, Международный дом музыки на Краснохолмской набережной, новое здание Филиала Большого театра, театр «Новая опера» и др.

За годы научной деятельности Г.Л. Осипов опубликовал около 400 научных работ, в том числе 20 монографий и учебных пособий, более 16 статей в зарубежных научных изданиях, получил 30 авторских свидетельств за изобретения.

В течение двадцати лет Георгий Львович являлся активным членом экспертного совета ВАК, был председателем диссертационного совета НИИСФ РААСН по присуждению кандидатской и докторской степени по специальностям 05.23.01, 05.23.03, 03.00.16, был членом ученых и диссертационных советов ряда вузов и научно-исследовательских институтов страны.

Научные исследования и разработки Г.Л. Осипова получили мировое признание. Он был широко известен в международных акустических кругах, был избран действительным членом Американского акустического общества, Европейской акустической ассоциации, членом Международного института акустики и вибраций, принимал активное участие в работе технического комитета № 43 Международной организации по стандартизации (ИСО), долгие годы был сопредседателем Координационного центра по акустике Совета экономической взаимопомощи стран социализма, вице-президентом Восточно-Европейского акустического общества, входил в редколлегию акустического журнала «Applied Acoustics» (Великобритания).

За заслуги перед строительной наукой он был удостоен в 1989 г. звания «Заслуженный деятель науки и техники». В 1993 г. Георгий Львович был избран действительным членом РААСН, в 2001 г. стал лауреатом Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники за работу «Теоретические основы создания и внедрения эффективных тепло- и звукоизоляционных материалов».

За многолетнюю плодотворную научно-творческую, педагогическую и организаторскую деятельность академик Г.Л. Осипов был награжден орденом Знак Почета (1986 г.), орденом Дружбы (1999 г.), неоднократно награждался медалями и почетными грамотами. В 1982 г. он получил серебряную медаль ВДНХ за разработку ряда стандартов и СНиПов, способствующих повышению эффективности природоохранных работ в г. Москве.

Редакция научно-технического журнала «Строительство и реконструкция»

Е.Н. КУРБАЦКИЙ¹, Е.А. ПЕСТРЯКОВА¹, А.Ш. ХУССЕЙН¹

¹Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), г. Москва, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ ГРУНТА С НЕЛИНЕЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ПАРАМЕТРЫ СПЕКТРОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

Аннотация. Описаны способы задания исходных сейсмических воздействий в современных нормативных документах разных стран. Сейсмическое воздействие задаётся в виде спектров максимальных для скальных или жёстких грунтов. Для учёта локальных геологических условий используются поправочные грунтовые коэффициенты, которые не всегда правильно описывают усиление колебаний. Разработана методика, позволяющая учитывать влияние мягких слоёв грунта с учётом нелинейного поведения на параметры спектров максимальных реакций. Учёт нелинейного поведения грунта выполняется с помощью итерационного нелинейного метода эквивалентного нелинейному. При построении методики используются метод решения задач теории упругости и строительной механики, основанный на свойствах спектров Фурье финитных функций.

Для двухслойного массива грунта, расположенного на коренной породе, получена система уравнений для вычисления коэффициентов усиления спектров максимальных реакций поверхностными слоями грунтов, позволяющее более точно оценивать локальные инженерно геологические условия.

Ключевые слова: спектры максимальных реакций, спектры Фурье финитных функций, коэффициенты усиления.

E.N. KURBATSKY¹, E.A. PESTRIAKOVA¹, A.S. HUSSEIN¹

¹Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Moscow, Russia

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SURFACE SOIL LAYERS WITH NONLINEAR PROPERTIES ON THE PARAMETERS OF MAXIMUM RESPONSE SPECTRA

Abstract. The methods of setting initial seismic effects in co-modern normative documents of different countries are described. The seismic impact is specified in the form of maximum spectra for rocky or rigid soils. To take into account local geological conditions, correction ground coefficients are used, which do not always correctly describe the amplification of vibrations. A methodology has been developed that makes it possible to take into account the influence of soft soil layers with consideration of nonlinear behavior on the parameters of the maximum response spectra. The nonlinear behavior of the ground is taken into account by means of an iterative nonlinear method equivalent to the nonlinear method. The method of solving problems of elasticity theory and structural mechanics based on the properties of Fourier spectra of finite functions is used in the construction of the method.

For a two-layer soil massif located on the bedrock, a system of equations for calculating the amplification coefficients of the spectra of maximum reactions by surface layers of soils is obtained, which allows to estimate local engineering geological conditions more accurately.

Keywords: maximum response spectra, Fourier spectra of finite functions, coefficients of amplification.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASCE Standard ASCE/SEI 7-10. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, 2016.
2. ASCE/SEI 4-16. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures. American Society of Civil Engineers, 2017.
3. Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. Академия строительства и архитектуры СССР. ЦНИИС строительных конструкций. М.: Госстройиздат, 1960. 131 с.
4. Seed H.B., Idriss I.M. Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis. Report No. 70-10. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1970.
5. Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, 1996.
6. Курбацкий Е.Н. Метод решения задач строительной механики и теории упругости, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций: Дис. ... докт. техн. наук. МИИТ, Москва, 1995. 205 с.
7. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. М.: Редакция Управления связи РККА, 1938.
8. Ляв А. Математическая теория упругости. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935.
9. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Финитные функции в физике и технике. М.: Наука, 1971. 408 с.
10. Маркушевич А.И. Краткий курс аналитических функций. М.: Физматгиз, 1961.
11. International Building Code (IBC). International Code Council, Washington, DC, 2015.

REFERENCES

1. ASCE. *ASCE/SEI 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, 2010.
2. ASCE. *ASCE/SEI 4-16: Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures*. American Society of Civil Engineers, 2016.
3. Sorokin E.S. *To the Theory of Internal Friction in Vibrations of Elastic Systems*. Moscow: Gosstroyizdat, 1960. 131 p. (in Russian)
4. Seed, H.B., and Idriss, I.M. (1970). "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis." *Report No. 70-10*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
5. Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Toronto.
6. Kurbatsky E.N. *Method for Solving Problems of Structural Mechanics and Theory of Elasticity Based on Properties of Fourier Transforms of Finite Functions*. Doctoral Dissertation, MIIT, Moscow, 1995. 205 p. (in Russian)
7. Kotelnikov V.A. *On the Transmission Capacity of "Ether" and Wire in Telecommunications*. Moscow: Communications Directorate of RKKA, 1938. (in Russian)
8. Love, A.E.H. *Mathematical Theory of Elasticity*. Moscow-Leningrad: ONTI NKTP, 1935. (Russian translation)
9. Khurgin Ya.I., Yakovlev V.P. *Finite Functions in Physics and Engineering*. Moscow: Nauka, 1971. 408 p. (in Russian)
10. Markushevich A.I. *Short Course in Analytic Functions*. Moscow: Fizmatgiz, 1961. (in Russian)
11. ICC. *International Building Code*. International Code Council, Washington, DC, 2015.

Информация об авторах:

Курбацкий Евгений Николаевич

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия
Академик РАТ, доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели».
E-mail: dynamic.miit@gmail.com

Пестрякова Екатерина Алексеевна

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты и тоннели».
E-mail: kate.pestriakova@gmail.com

Хуссейн Алрмиш Шахд

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия
Аспирант кафедры «Мосты и тоннели».
E-mail: shahdalrmish@yandex.ru

Information about authors:

Evgeny N. Kurbatsky

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Academician of the Russian Academy of Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor at the "Bridges and Tunnels" Department

E-mail: dynamic.miit@gmail.com

Ekaterina A. Pestryakova

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the "Bridges and Tunnels" Department

E-mail: kate.pestriakova@gmail.com

Hussein Alrmish Shahd

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Postgraduate Student at the "Bridges and Tunnels" Department

E-mail: shahdalrmish@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.04.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 12.04.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

С.И. МЕРКУЛОВ¹¹ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ СЖАТИИ

Аннотация. Приведены результаты исследования несущей способности и деформативности внецентренно сжатых железобетонных составных элементов малой гибкости, изготовленных добетонированием сборных элементов до проектных размеров сечения. Исследованы совместная работа в составном сечении бетонов с различными прочностными и деформативными характеристиками при кратковременном и длительном нагружении, влияние предыстории нагружения на деформативность длительно нагруженных внецентренно сжатых железобетонных элементов, выявлен механизм перераспределения внутренних усилий между составными частями сечения в процессе нагружения и во времени, установлен характер разрушения опытных образцов. Установлено, что совместная работа бетонов с различными деформативными характеристиками значительно увеличивает предельную сжимаемость этих бетонов. При длительном действии внецентренно приложенной нагрузки на элементы малой гибкости выявлена возможность достижения предельного состояния второй группы.

Ключевые слова: бетон, составное сечение, внецентренное сжатие, предельная сжимаемость бетона, деформативность бетона, ползучесть

S.I. MERKULOV¹¹Kursk State University, Kursk, Russia

EXPERIMENTAL RESEARCHES REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS COMPOSITE SECTION WITH OFF-CENTER COMPRESSION

Abstract. The results of a study of the bearing capacity and deformability of non-centrally compressed reinforced concrete composite elements of low flexibility, made by concreting prefabricated elements to the design cross-section dimensions, are presented. The joint work in the composite section of concretes with various strength and deformation characteristics under short-term and long-term loading, the influence of loading history on the deformability of long-term loaded non-centrally compressed reinforced concrete elements, the mechanism of redistribution of internal forces between the components of the section during loading and over time, the nature of destruction of prototypes is established. It has been established that the joint work of concretes with various deformative characteristics significantly increases the ultimate compressibility of these concretes. With prolonged action of an off-center applied load on elements of low flexibility, the possibility of reaching the limiting state of the second group was revealed.

Keywords: concrete, composite section, off-center compression, ultimate compressibility of concrete, deformability of concrete, creep

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баширов Х.З., Колчунов В.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. – М.: АСВ. 2017. 248 с.
2. Федоров В.С., Баширов Х.З., Колчунов В.И. Элементы теории расчета железобетонных конструкций//Academia. Архитектура и строительство. 2014. - №2. – С.226-228.
3. Колчунов В.И., Панченко А.А. Расчет составных тонкостенных конструкций. – М.: АСВ. 1999. 281 с.
4. Рогатнев, Ю.Ф., Потапов Ю.Б., Барабаш Д.Е., Панфилов Д.В., Джавид М.М. Расчет прогибов железобетонных изгибаемых элементов с верхним слоем из высококачественного бетона – Научный вестник МГСУ. 2016. - №3. - С. 26-36.
5. Меркулов С.И. Основы теории реконструкции железобетона. – Курск: Курский гос. техн. унив. 2009. 248 с.
6. Сафина Л.Х. Пути развития теории реконструируемого железобетона//Промышленное и гражданское строительство. 2023 №3. – С. 48-54.
7. Король Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета. – М.: АСВ. 2001. 256 с.
8. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. К вопросу развития теории реконструированного железобетона// Бетон и железобетон. 2005. №1. С.25.
9. Бондаренко В.М., Меркулов С.И. Методологические основы теории конструктивной безопасности реконструированного железобетона// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. . 2008. №3. С.77-80.
10. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. – М.: МГСУ. 2012. 524с.
11. Гаустов К.З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций. – М.: Физматлит. 2006. 248 с.
12. Крылов С. Б., Гончаров Е.Е. Использование реологических моделей при моделировании ползучести бетона // Промышленное и гражданское стр-во. – 2013. – № 2. – С. 32-33.
13. Hidalgo P.A., Jordan R.M., Martinez M.P. An analytical model to predict the inelastic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures//Engineering Structures, 24,1, Jan/ 2022, p. 85-98.
14. Boualam N., Muller A. Zum Einfluss des Zements auf das Kriech- und Schwindverhalten von Beton und Mortel//Ibaasil:
15. 14. Internationale Baustofftagung, Weimar, 20-23. Sep., Bd. 1. Weimar: Bauhaus-Univ. Weimar/ 2000. – pp. 1/0485-1/0494.
16. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. – М.: Стройиздат, 1982. 287 с.
17. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. – М.: АСВ, 2004. 472 с.
18. Бондаренко В.М., Боровских А.В., Марков С.В., Римшин В.И. Элементы теории реконструкции железобетона.- Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. унив. 2002. 190 с.

REFERENCES

1. Bashirov Kh.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. *Reinforced concrete composite structures of buildings and structures*. Moscow: DIA, 2017. 248 p.
2. Fedorov V.S., Bashirov H.Z., Kolchunov V.I. Elements of the theory of calculation of reinforced concrete structures. *Academia. Architecture and construction*. 2014. No. 2. Pp. 226–228.
3. Kolchunov V.I., Panchenko A.A. *Calculation of composite thin-walled structures*. Moscow: ASV, 1999. 281 p.
4. Rogatnev Yu.F., Potapov Yu.B., Barabash D.E., Panfilov D.V., Javid M.M. Calculation of deflections of reinforced concrete bendable elements with a top layer of high-quality concrete. *Scientific Bulletin of MGSU*. 2016. No. 3. Pp. 26–36.
5. Merkulov S.I. *Fundamentals of the theory of reconstruction of the ironstone*. Kursk: Kursk State Technical University, 2009. 248 p.
6. Safina L.H. Ways of developing the theory of reconstructed reinforced concrete. *Industrial and civil construction*. 2023. No. 3. Pp. 48–54.
7. Korol E.A. *Three-layer enclosing reinforced concrete structures made of light concrete and features of their calculation*. Moscow: ASV, 2001. 256 p.
8. Bondarenko V.M., Merkulov S.I. On the development of the theory of reconstructed reinforced concrete. *Concrete and reinforced concrete*. 2005. No. 1. P. 25.

9. Bondarenko V.M., Merkulov S.I. Methodological foundations of the theory of structural safety of reconstructed reinforced concrete. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2008. No. 3. Pp. 77–80.
10. Tamrazyan A.G., Yesayan S.G. *Mechanics of concrete creep*. Moscow: MGSU, 2012. 524 p.
11. Gaustov K.Z. *Nonlinear theory of concrete creep and calculation of reinforced concrete structures*. Moscow: Fizmatlit, 2006. 248 p.
12. Krylov S.B., Goncharov E.E. The use of rheological models in modeling concrete creep. *Industrial and civil construction*. 2013. No. 2. Pp. 32–33.
13. Yukhnov I.V., Yaziev B.M., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V. Longitudinal bending of a flexible reinforced concrete strut under nonlinear creep. *Modern problems of science and education*. 2014. No. 5. P. 182.
14. Hidalgo P.A., Jordan R.M., Martinez M.P. An analytical model to predict the inelastic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures. *Engineering Structures*. 2022. Vol. 24. No. 1. Pp. 85–98.
15. Boualam N., Muller A. Zum Einflub des Zements auf das Kriech- und Schwindverhalten von Beton und Mortel. *Ibausil: 14. Internationale Baustofftagung, Weimar, 20–23. Sep.* Weimar: Bauhaus-Univ. Weimar, 2000. Bd. 1. Pp. 1/0485–1/0494.
16. Bondarenko V.M., Bondarenko S.V. *Engineering methods of nonlinear theory of reinforced concrete*. Moscow: Stroyizdat, 1982. 287 p.
17. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. *Computational models of the strength resistance of reinforced concrete*. Moscow: DIA, 2004. 472 p.
18. Bondarenko V.M., Borovskikh A.V., Markov S.V., Rimshin V.I. *Elements of the theory of reinforced concrete reconstruction*. Nizhny Novgorod: Nizhegorod State Architectural Institute, 2002. 190 p.

Информация об авторах

Меркулов Сергей Иванович

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия,
чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой,
E-mail: mersi.dom@yandex.ru

Information about authors

Merkulov Sergey Iv.

Kursk State University, Kursk, Russia,
Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department,
E-mail: mersi.dom@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2025
Одобрена после рецензирования 10.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 02.04.2025
Approved after reviewing 10.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

С. В. НИКИФОРОВ¹, М. В. ТЕРНОВСКИЙ²

¹АО «Синергия», Санкт-Петербург, Россия

²Научно-испытательная лаборатория «Политех-СКИМ-Тест», Санкт-Петербург, Россия

КОНТРОЛЬ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ МАССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В статье описываются основные принципы контроля термонапряженного состояния при бетонировании массивных бетонных конструкций на примере фундаментных конструкций высотных зданий проектируемого комплекса в Санкт-Петербурге. Целью исследования является разработка способов контроля термонапряженного состояния при бетонировании массивных конструкций на основании определения критерия трещиностойкости бетона. Для достижения поставленной цели были выполнены расчёты температурных полей бетонной конструкции при твердении бетона в строительный период и определены критерии трещиностойкости. Основные результаты данного исследования могут быть применены при проектировании и устройстве массивных фундаментных конструкций уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: бетонные конструкции, термонапряженное состояние, трещиностойкость, тепловыделение, контроль температуры, уход за бетоном.

S. V. NIKIFOROV¹, M. V. TERNOVSKIY²

¹JSC Synergiya, Saint Petersburg, Russia

²Scientific Testing Laboratory Politech-SKiM-Test, Saint Petersburg, Russia

MONITORING THERMAL STRESS STATE DURING CONCRETING OF MASSIVE FOUNDATION STRUCTURES FOR HIGH-RISE BUILDINGS

Abstract. The article outlines the core principles of monitoring the thermal stress state during the concreting of massive concrete structures, using the foundation systems of high-rise buildings in a planned complex in Saint Petersburg as a case study. The study aims to develop methods for controlling the thermal stress state during concreting by establishing criteria for concrete crack resistance. To achieve this goal, calculations of temperature fields in the concrete structure during the hardening phase were performed, and crack resistance criteria were determined. The key findings of this research can be applied to the design and construction of massive foundation systems for unique buildings and structures.

Keywords: concrete structures, thermal stress state, crack resistance, heat generation, temperature monitoring, concrete curing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шулятьев О.А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: Изд. ACB, 2022. 442 с.
2. Katzenbach R., Leppla S., Choudhury D. *Foundation Systems for High-Rise Structures*. London: Taylor & Francis Group, LLC, 2017. 292 p.
3. Poulos H.G. *Tall buildings foundation design*. London: Taylor & Francis Group, LLC, 2017. 561 p.
4. Доркин Н.И., Зубанов С.В. Технология возведения высотных монолитных железобетонных зданий. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2022. 238 с.
5. Лapidус А.А., Макаров А.Н. Устройство монолитных железобетонных конструкций. М., 2022. 67 с.
6. Батяновский Э.И. Технология монолитного бетонирования. Минск: Вышэйшая школа, 2021. 272 с.
7. Трапезников Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.
8. Nguyen T.-C., Bui K.A. Thermal Cracks in Concrete Structure—The Basic Issues to Be Understood. *Structural Health Monitoring and Engineering Structures*. 2021. № 6. P. 229-240.
9. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Иванов С.И. Опыт бетонирования массивной густоармированной конструкции с обеспечением термической трещиностойкости. *Строительные материалы*. 2023. № 10. С. 15-24.
10. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. О влиянии условий выдерживания при возведении массивных монолитных железобетонных конструкций на прочность бетона. *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 10.
11. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. *American Concrete Institute Materials Journal*. 2008. № 105. P. 325-333.
12. Запорожец И.Д., Огороков С.Д., Парийский А.А. Тепловыделение бетона. Л., М.: Стройиздат, 1966. 313 с.
13. Ivanov E.N., Semenov K.S., Barabanshchikov Yu.G., Akimov S.V., Kuleshin A.S., Titov N.S. Concrete heat liberation in thermal stressed state analysis. *Magazine of Civil Engineering*. 2023. № 8(124). P. 12409.
14. Бушманова А.В., Харченко Д.К., Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г., Коровина В.К., Дернакова А.В. Термическая трещиностойкость массивных сталежелезобетонных конструкций. *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 3(79). С. 45-53.
15. Семенов К.В., Титов Н.С. Учет тепловыделения бетона в расчетах термической трещиностойкости массивных железобетонных конструкций. *Инженерные исследования*. 2024. № 1(16). С. 3-12.
16. Shen L., Ren Q., Cusatis G., Cao M., Xu L., Yang Y. Numerical study on crack thermal resistance effect on thermo-mechanical coupled behavior of concrete structure at room temperature. *International Journal of Solids and Structures*. 2020. Vol. 182-183, № 1. P. 141-155.
17. Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 2(17). С. 125-135.
18. Травуш В.И., Шахворостов А.И. Бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента башни комплекса «Лакhta центр». *Высотные здания*. 2015. № 1. С. 92-101.
19. Abdelrazaq A., Travush V., Shakhvorostov A., Timofeevich A., Desyatkin M., Jung H. The Structural Engineering Design And Construction Of The Tallest Building In Europe Lakhta Center, St. Petersburg, Russia. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2020. Vol. 9, No 3. P. 283-300.
20. Никифоров С.В. Особенности конструкции фундамента высотного здания «Лакhta Центра». *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2024. Том 26, № 1. С. 180-192.

REFERENCES

1. Shulyatev O.A. *Foundations and Footings of High-Rise Buildings*. Moscow: ASV, 2022. 442 p.
2. Katzenbach R., Leppla S., Choudhury D. *Foundation Systems for High-Rise Structures*. London: Taylor & Francis Group, 2017. 292 p.
3. Poulos H.G. *Tall Buildings Foundation Design*. London: Taylor & Francis Group, 2017. 561 p.
4. Dorkin N.I., Zubanov S.V. *Construction Technology of High-Rise Monolithic Reinforced Concrete Buildings*. Moscow: FORUM: INFRA-M, 2022. 238 p.
5. Lapidus A.A., Makarov A.N. *Construction of Monolithic Reinforced Concrete Structures*. Moscow, 2022. 67 p.

6. Batyanovsky E.I. *Technology of Monolithic Concreting*. Minsk: Vysheishaya shkola, 2021. 272 p.
7. Trapeznikov L.P. *Thermal Crack Resistance of Massive Concrete Structures*. Moscow: Energoatomizdat, 1986. 272 p.
8. Nguyen T.-C., Bui K.A. Thermal Cracks in Concrete Structure - The Basic Issues to Be Understood. *Structural Health Monitoring and Engineering Structures*. 2021. No. 6. Pp. 229-240.
9. Kapielov S.S., Sheinfeld A.V., Ivanov S.I. Experience in Concreting Massive Densely Reinforced Structures with Ensuring Thermal Crack Resistance. *Stroitelnye Materialy*. 2023. No. 10. Pp. 15-24. (in Russian)
10. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Sukhin D.P. On the Influence of Curing Conditions During Construction of Massive Monolithic Reinforced Concrete Structures on Concrete Strength. *Don Engineering Bulletin*. 2021. No. 10. (in Russian)
11. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. *American Concrete Institute Materials Journal*. 2008. No. 105. Pp. 325-333.
12. Zaporozhets I.D., Okorokov S.D., Pariysky A.A. *Concrete Heat Generation*. Leningrad, Moscow: Stroyizdat, 1966. 313 p. (in Russian)
13. Ivanov E.N., Semenov K.S., Barabanshchikov Yu.G., Akimov S.V., Kuleshin A.S., Titov N.S. Concrete Heat Liberation in Thermal Stressed State Analysis. *Magazine of Civil Engineering*. 2023. No. 8(124). P. 12409.
14. Bushmanova A.V., Kharchenko D.K., Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G., Korovina V.K., Dernakova A.V. Thermal Crack Resistance of Massive Steel-Reinforced Concrete Structures. *Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal*. 2018. No. 3(79). Pp. 45-53. (in Russian)
15. Semenov K.V., Titov N.S. Accounting for Concrete Heat Generation in Calculations of Thermal Crack Resistance of Massive Reinforced Concrete Structures. *Engineering Research*. 2024. No. 1(16). Pp. 3-12. (in Russian)
16. Shen L., Ren Q., Cusatis G., Cao M., Xu L., Yang Y. Numerical Study on Crack Thermal Resistance Effect on Thermo-Mechanical Coupled Behavior of Concrete Structure at Room Temperature. *International Journal of Solids and Structures*. 2020. Vol. 182-183, No. 1. Pp. 141-155.
17. Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Thermal Crack Resistance of Massive Concrete Foundation Slabs and Its Provision During Winter Construction. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 2(17). Pp. 125-135. (in Russian)
18. Travush V.I., Shakhvorostov A.I. Concreting of the Bottom Slab of the Box Foundation of the Lakhta Center Tower. *High-Rise Buildings*. 2015. No. 1. Pp. 92-101. (in Russian)
19. Abdelrazaq A., Travush V., Shakhvorostov A., Timofeevich A., Desyatkin M., Jung H. The Structural Engineering Design and Construction of the Tallest Building in Europe Lakhta Center, St. Petersburg, Russia. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2020. Vol. 9, No. 3. Pp. 283-300.
20. Nikiforov S.V. Features of the Foundation Design of the Lakhta Center High-Rise Building. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta*. 2024. Vol. 26, No. 1. Pp. 180-192. (in Russian)

Информация об авторах:

Сергей Владимирович Никифоров

Заместитель Генерального директора по проектированию
АО «Синергия», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: sergeivnikiforov@gmail.com

Максимилиан Владимирович Терновский

Ведущий инженер
Научно-испытательная лаборатория «Политех-СКИМ-Тест», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ternovskij_mv@spbstu.ru

Information about authors:

Sergey V. Nikiforov

Deputy General Director for Design
JSC "Synergy", Saint Petersburg, Russia
E-mail: sergeivnikiforov@gmail.com

Maximilian V. Ternovsky

Lead Engineer
Research and Testing Laboratory "Polytech-SKiM-Test", Saint Petersburg, Russia
E-mail: ternovskij_mv@spbstu.ru

Статья поступила в редакцию 12.03.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 12.03.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

В.Г. СЕБЕШЕВ¹, Н.А. ЛЮФТ,¹ Ю.А. ГЕРБЕР¹

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия

МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ КАК РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме защиты зданий и сооружений от различных по природе и происхождению динамических воздействий. Рассматривается эффективное средство подавления вибраций – динамические гасители колебаний. Предложена обобщенная модель системы многомассовых гасителей и рациональный, инженерно-ориентированный, метод расчета их параметров при полигармонических описаниях сложных динамических воздействий на строительные объекты, с использованием понятий и методов теории регулирования напряженно-деформированного состояния сооружений и конструкций, где роль регуляторов играют гасители. На основе декомпозиционного подхода получено аналитическое решение задачи определения параметров комплекса гасителей по заранее сформулированным требованиям к результатам регулирования динамического состояния деформируемой системы (сооружения, конструкции). На тестовых задачах выполнены оценки и анализ точности результатов расчетов модельных систем по разработанным методикам, алгоритмам и формулам.

Ключевые слова: полигармонические воздействия, гашение колебаний, регулирование, многомассовые динамические гасители, декомпозиция

V.G. SEBESHEV¹, N.A. LYUFT¹, YU.A. GERBER¹

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

METHOD FOR CALCULATION PARAMETERS OF DYNAMIC VIBRATION DAMPERS' COMPLEXES AS REGULATORS OF STRUCTURES' AND CONSTRUCTIONS' STRESS-STRAIN STATE UNDER POLYHARMONIC EXCITATIONS

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of protecting buildings and structures from dynamic influences of various nature and origin. An effective means of vibration suppression is being considered namely dynamic vibration dampers. A generalized model of a system of multi-mass dampers and a rational, engineering-oriented method for calculating their parameters at conditions of polyharmonic descriptions of complex dynamic excitations on construction objects are proposed, using the concepts and methods of the theory of regulating the stress-strain state of structures, where dampers play the role of regulators. Based on the decomposition approach, an analytical solution to the problem of determining the parameters of a complex of dampers according to pre-formulated requirements for the results of regulating the dynamic state of a deformable system (buildings, structures) is obtained. The test tasks were used to evaluate and analyze the accuracy of the results of calculations of model systems according to the developed methods, algorithms and formulas.

Keywords: polyharmonic excitations, damping of vibrations, regulation, multi-mass dampers, decomposition.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В. К расчету строительных конструкций на сейсмические воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. 1980. № 1. С. 9-14.
2. Болотин В.В., Радин В.П., Чирков В.П. Моделирование динамических процессов в элементах строительных конструкций при землетрясениях // Известия вузов. Строительство. 1999. № 5. С. 17-21.
3. Зайнулин Д.А., Нестерова О.П. Применение BIM (ТИМ) технологий для мониторинга зданий и сооружений в сейсмически опасных районах // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 15 апреля 2024 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. С. 204-207.
4. Шеин А.И., Быков А.Н. Гашение колебаний конструкций зданий и сооружений. Современное состояние проблемы // Моделирование и механика конструкций. 2024. № 20. С. 30-70.
5. Коренев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения. М.: Наука, 1988. 304 с.
6. Дукарт А.В., Олейник А.И. Динамические гасители колебаний конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2015. 248 с.
7. Себешев В.Г., Гербер Ю.А. Регулирование динамическими гасителями колебаний напряженно-деформированного состояния и надежности систем с сосредоточенными массами при гармонических воздействиях // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 9. С. 5-18.
8. Вольников М.И. Моделирование виброударозащиты гетерогенных структур // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2006. № 6. С. 373-379.
9. Вольников М.И. Динамическая модель балки с гасителем колебаний на дискретных рабочих средах // Современные проблемы развития техники и технологий, Пенза, 05-31 мая 2016 года. Пенза: Пензенский государственный технологический университет. 2016. С. 122-127.
10. Гусев А.А., Кузнецов А.И. Гашение колебаний упругой системы с маятниковым гасителем // Вестник Московского политехнического университета. 2018. № 2. С. 45-50.
11. Карапетян А.В. Инвариантные множества механических систем // Нелинейная механика. 2001. С. 62-88.
12. Крупенин В.Л. Параметрические колебания виброударных систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1979. 185 с.
13. Лонщик П.А. *Plumienie drgań mechanicznych robotów przemysłowych* // Przegląd Mechaniczny (Механическое обозрение). 1990. № 24. С. 34-42.
14. Лонщик П.А. Динамическое гашение крутильных колебаний // *Zagadnienia drgań nieliniowych* (Вопросы нелинейных колебаний). 1979. № 20. С. 71-76.
15. Смогунов В.В., Вольников М.И. Динамика гетерогенных структур: виброударозащита гетерогенных структур. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. 497 с.
16. Habib G., Romeo F. The Tuned Bistable Nonlinear Energy Sink // *Non-linear Dynamics*. 2017. No. 89(1). Pp. 179-196.
17. Желиостов Д.А., Медведева А.А., Уздин А.М., Нестерова О.П. Некоторые особенности подбора параметров двухмассовых динамических гасителей сейсмических колебаний // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2023. № 1(62). С. 27-31.
18. Gerber Yu.A., Sebeshev V.G. Regulation of dynamic stress-strain state and reliability of deformable systems with vibration dampers under harmonic loads // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Volume 972 (2020) 012013. Pp. 1-9.
19. Себешев В.Г., Гербер Ю.А. Регулирование с помощью динамических гасителей колебаний напряженно-деформированного состояния систем с конечным числом степеней свободы при гармонических воздействиях (решение в перемещениях масс с матрицей жесткости) // Изв. вузов. Строительство. 2021. № 6. С. 5-9.
20. Тараторкин А.И. Демпфирование резонансных колебаний гироскопических систем активным динамическим гасителем: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010.
21. Люфт Н.А., Себешев В.Г., Гербер Ю.А. Анализ эффектов идеализации и уточнение расчетных моделей в задачах динамики стержневых систем // Труды НГАСУ = Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2024. Т. 27. № 4 (94). С. 35-60.
22. Гербер, Ю.А., Себешев В.Г. Надежность стержневых систем с динамическим гашением колебаний в областях сгущения спектра собственных частот // Труды НГАСУ = Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. Т. 21. № 1(67). С. 59-74.

REFERENCES

1. Bolotin V.V. To the calculation of building structures for seismic impacts. *Structural Mechanics and Analysis of Structures*. 1980. No. 1. Pp. 9-14. (rus)
2. Bolotin V.V., Radin V.P., Chirkov V.P. Modeling of dynamic processes in elements of building structures during earthquakes. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1999. No. 5. Pp. 17-21. (rus)
3. Zainulin D.A., Nesterova O.P. Application of BIM (TIM) technologies for monitoring buildings and structures in seismically hazardous areas. Science and innovation in construction: Collection of reports of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the foundation of BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, April 15, 2024. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2024. Pp. 204-207. (rus)
4. Shein A.I., Bykov A.N. Damping of vibrations of building structures. Current state of the problem. *Modeling and mechanics of structures*. 2024. No. 20. Pp. 30-70. (rus)
5. Korenev B.G., Reznikov L.M. Dynamic dampers of vibrations: Theory and technical applications. Moscow: Nauka [Science]. 1988. 304 p. (rus)
6. Dukart A.V., Oleinik A.I. Dynamic vibration dampers of structures. Moscow: Publishing office of the Association of Construction Higher Educational Institutions. 2015. 248 p. (rus)
7. Sebeshev V.G., Gerber Yu.A. Regulation of the stress-strain state of systems with concentrated masses by dynamic vibration dampers under harmonic excitations. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019. No. 9. Pp. 5-18. (rus)
8. Vol'nikov M.I. Modeling of vibration shock protection of heterogeneous structures. *University News. Volga Region. Engineering Sciences*. 2006. No. 6. Pp. 373-379. (rus)
9. Vol'nikov M.I., Skamorin M. A. Dynamic model of a beam with a vibration damper on discrete working media. Modern Problems of Development of Engineering and Technologies, Penza, May 05–31, 2016. Penza: Penza State Technological University. 2016. Pp. 122-127. (rus)
10. Gusev A.A., Kuznetsov A.I. Damping of oscillations of an elastic system with a pendulum damper // *Bulletin of the Moscow Polytechnic University*. 2018. No. 2. Pp. 45-50. (rus)
11. Karapetyan A.V. Invariant sets of mechanical systems. *Nonlinear Mechanics*. 2001. Pp. 62-88. (rus)
12. Krupenin V.L. Parametric oscillations of vibro-impact systems: Cand. Sci. (Phys.-Math.) diss. Moscow, 1979. 185 p. (rus)
13. Lontsikh P.A. Tłumienie drgań mechanicznych robotów przemysłowych [Damping of mechanical vibrations of industrial robots]. *Przegląd Mechaniczny (Mechanical Review)*. 1990. No. 24. P. 34-42.
14. Lontsikh P.A. Dynamic damping of torsional vibrations [Динамическое гашение крутильных колебаний]. *Zagadnienia drgań nieliniowych (Problems of Nonlinear Vibrations)*. 1979. No. 20. Pp. 71-76.
15. Smogunov V.V., Vol'nikov M.I. Dynamics of heterogeneous structures: Vibration shock protection of heterogeneous structures. Penza: Penza State University Publishing House. 2005. 497 p. (rus)
16. Habib G., Romeo F. The Tuned Bistable Nonlinear Energy Sink. *Non-linear Dynamics*. 2017. No. 89(1). Pp. 179-196.
17. Zheliostov D.A., Medvedeva A.A., Uzdin A.M., Nesterova O.P. Some features of the selection of parameters of two-mass dynamic dampers of seismic vibrations. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*. 2023. No. 1 (62). Pp. 27-31. (rus)
18. Gerber Yu.A., Sebeshev V.G. Regulation of dynamic stress-strain state and reliability of deformable systems with vibration dampers under harmonic loads. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Volume 972 (2020) 012013. Pp. 1-9.
19. Sebeshev V.G., Gerber Yu.A. Regulation of the multi-degree-of-freedom systems' stress-strain state under harmonic excitations by means of dynamic vibration dampers (solution in mass' displacements with a stiffness matrix). *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021. No. 6. Pp. 5-19. (rus)
20. Taratorkin A.I. Damping of resonant vibrations of gyroscopic systems by an active dynamic damper: Dr. Sci. (Eng.) diss. Moscow. 2010. (rus)
21. Lyuft N.A., Sebeshev V.G., Gerber Yu.A. Analysis of Idealization Effects and Refinement of Computational Models in Problems of Dynamics of Rod Systems. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2024. Vol. 27. No. 4 (94). Pp. 35-60. (rus)
22. Gerber Yu.A., Sebeshev V.G. Reliability of Rod Systems with Dynamic Vibration Damping in Frequency Cluster Regions of Natural Frequencies. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2018. Vol. 21. No. 1(67). Pp. 59-74. (rus)

Информация об авторах:

Себешев Владимир Григорьевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,

г. Новосибирск, Россия,
кандидат технических наук, профессор, поч. член РААСН, профессор кафедры строительной механики.
E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Люфт Никита Андреевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия,
аспирант кафедры строительной механики.
E-mail: n.lyuft@sibstrin.ru

Гербер Юрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики.
E-mail: yu.gerber@sibstrin.ru

Information about authors:

Sebeshev Vladimir G.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia,
candidate of technical science, professor, Hon. Mem. RAACS, professor of the department of Structural Mechanics.
E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Lyuft Nikita A.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia,
post-graduate Student of the department of Structural Mechanics.
E-mail: n.lyuft@sibstrin.ru

Gerber Yuriy A.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia
candidate of technical science, associated professor of the department of Structural Mechanics.
E-mail: yu.gerber@sibstrin.ru

Статья поступила в редакцию 14.05.2025
Одобрена после рецензирования 07.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 14.05.2025
Approved after reviewing 07.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

В.А. СМІРНОВ^{1,2}¹Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ DMA-АНАЛИЗА

Аннотация. В статье решается задача идентификации параметров моделей вязкоупругих материалов, выполненных из вспененного полиуретана с замкнутыми порами по результатам его испытаний на DMA-анализаторе (dynamical mechanical analysis). DMA-испытания позволяют определить вязкоупругие характеристики материалов – комплексный модуль упругости в широком диапазоне частот. Для инженерных приложений наиболее важным для практического применения является диапазон частот в пределах 1 – 1000 Гц – для решения проблем динамики (виброизоляции и сейсмоизоляции) и акустики (защита от структурной звукопередачи). При этом в инженерной практике используют разнообразные феноменологические модели материалов – начиная от модели Кельвина-Фойгта (КФ) и стандартного линейного твёрдого тела (СЛТ) – до моделей, содержащих дробные производные – дробная модель КФ, дробная модель СЛТ, в том числе с несколькими параметрами дробности. Используя результаты DMA-испытаний: зависимости действительной и мнимой частей модуля упругости от частоты, подбирают параметры указанных моделей используя метод наименьших квадратов. Оценивается точность аппроксимации, а также полученные параметры моделей для выбранного типа материала.

Ключевые слова: вязкоупругие материалы, диапазон частот, феноменологические модели материалов, динамический модуль упругости, дробные модели.

V.A. SMIRNOV^{1,2}¹Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

IDENTIFICATION OF VISCOELASTIC MATERIAL PARAMETERS BASED ON DMA ANALYSIS RESULTS

Abstract. The article addresses the problem of identifying parameters for viscoelastic material models made from closed-cell polyurethane foam based on results obtained using a dynamic mechanical analyzer (DMA). DMA testing allows determining viscoelastic characteristics of materials — complex elastic modulus over a wide frequency range. For engineering applications, the most important practical application is within the frequency range of 1–1000 Hz to solve problems related to dynamics (vibration isolation and seismic insulation), as well as acoustics (protection against structural sound transmission). In engineering practice, various phenomenological material models are used, ranging from Kelvin-Voigt (KV) model and standard linear solid (SLS) model up to fractional derivative-based models such as fractional KV model, fractional SLS model including those with multiple fractional parameters. Using DMA test results—dependencies of real and imaginary parts of elastic modulus versus frequency, these models' parameters are adjusted by means of least squares method. The accuracy of approximation along with identified model parameters specific to the chosen type of material are evaluated.

Keywords: viscoelastic materials, frequency range, phenomenological material models, dynamic modulus, fractional model.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Skuratova T.B., Kirillov S.E., Syatkovskiy A.I. Dissipative Properties of Polymer Films and Composite Materials Based on Polyvinyl Acetate // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Vol. 92, No. 7. Pp. 952-957. doi:10.1134/S1070427219070115
2. Волкова Н. Виброизоляция вентиляционного оборудования // *СОК*. 2011. №10.
3. Гусев В.П. Вибрация как источник структурного шума, создаваемого оборудованием инженерных систем, и средства виброизоляции // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. №3.
4. Яковлев С.Н., Мазурин В.Л. Виброизолирующие свойства полиуретановых эластомеров, применяемых в строительстве // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. №6(74). С. 53-60. doi:10.18720/MCE.74.5
5. Ясафова С.А. Исследование оптимизации виброизолирующих материалов строительных конструкций // *E-Scio*. 2021. №2(53).
6. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration. Guidelines for Vibration Prediction in Rail Projects. 2020.
7. Cortazar-Noguerol J., Cortés F., Sarriá I., Elejabarrieta M.J. Preload Influence on the Dynamic Properties of a Polyurethane Elastomeric Foam // *Polymers*. 2024. Vol. 16, No. 13. 1844. doi:10.3390/polym16131844
8. Somarathna H.M.C.C., Raman S.N., Mohotti D., Mutalib A.A., Badri K.H. The Use of Polyurethane for Structural and Infrastructural Engineering Applications: A State-of-the-Art Review // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 190. Pp. 995-1014.
9. Ngamkhanong C., Kaewunruen S. Effects of under Sleeper Pads on Dynamic Responses of Railway Prestressed Concrete Sleepers Subjected to High Intensity Impact Loads // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 214. 110604.
10. Гусев В.П. Опыт борьбы с шумом оборудования инженерных систем // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. №5.
11. Mohammad K., Asthana A., Cockerham G., Almond M. Innovative acoustic jacketing for oil and gas pipelines // *Proceedings of 6th World PetroCoal Congress*. New Delhi, India, 2016.
12. Anton Paar GmbH. Basics of Dynamic Mechanical Analysis (DMA). URL: <https://wiki.anton-paar.com/us-en/basics-of-dynamic-mechanical-analysis-dma>
13. Tain Instruments. Introduction to dynamic mechanical analysis and its application to testing of polymer solids. 2023. URL: <https://www.tainstruments.com/applications-notes/introduction-to-dynamic-mechanical-analysis-and-its-application-to-testing-of-polymer-solids>
14. Xu Y., Dong Y., Huang X., Luo Y., Zhao S. Properties Tests and Mathematical Modeling of Viscoelastic Damper at Low Temperature With Fractional Order Derivative // *Frontiers in Materials*. 2019. Vol. 6. 194. doi:10.3389/fmats.2019.00194
15. Lucklum R., Soares D. Viscoelastic Properties of Macromolecules // *Piezoelectric Transducers and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. doi:10.1007/978-3-540-77508-9_7
16. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. М.: Издательство, 1963. 536 с.
17. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 336 с.
18. Pritz T. Five-parameter fractional derivative model for polymeric damping materials // *Journal of Sound and Vibration*. 2003. Vol. 265. Pp. 935-952. doi:10.1016/S0022-460X(02)01530-4
19. Bagley R.L., Torvik P.J. Fractional Calculus—A Different Approach to the Analysis of Viscoelastically Damped Structures // *AIAA Journal*. 1983. Vol. 21. Pp. 741-748. doi:10.2514/3.8142
20. Koeller R.C. Applications of Fractional Calculus to the Theory of Viscoelasticity // *Journal of Applied Mechanics*. 1984. Vol. 51. Pp. 299-307. doi:10.1115/1.3167616
21. Rossikhin Y.A., Shitikova M.V. Applications of Fractional Calculus to Dynamic Problems of Linear and Nonlinear Hereditary Mechanics of Solids // *Applied Mechanics Reviews*. 1997. Vol. 50, No. 1. Pp. 15-67. doi:10.1115/1.3101682
22. Schiessel H., Metzler R., Blumen A., Nonnenmacher T. Generalized viscoelastic models: Their fractional equations with solutions // *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 1995. Vol. 28. Pp. 6567-6584. doi:10.1088/0305-4470/28/23/012
23. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. Comparative analysis of viscoelastic models involving fractional derivatives of different orders // *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 2007. Vol. 10.
24. Shitikova M.V. Fractional Operator Viscoelastic Models in Dynamic Problems of Mechanics of Solids: A Review // *Mechanics of Solids*. 2021. Vol. 57. doi:10.3103/S0025654422010022

REFERENCES

1. Skuratova T.B., Kirillov S.E., Syatkovskiy A.I. Dissipative Properties of Polymer Films and Composite Materials Based on Polyvinyl Acetate. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Vol. 92, No. 7. Pp. 952-957. doi:10.1134/S1070427219070115
2. Volkova N. Vibroizolyatsiya ventilyatsionnogo oborudovaniya [Vibration Isolation of Ventilation Equipment]. *SOK*. 2011. No. 10. (rus).
3. Gusev V.P. Vibratsiya kak istochnik strukturnogo shuma, sozdaemogo oborudovaniem inzhenernykh sistem, i sredstva vibroizolyatsii [Vibration as a Source of Structural Noise Created by Engineering Systems Equipment and Vibration Isolation Means]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2010. No. 3. (rus).
4. Yakovlev S.N., Mazurin V.L. Vibroizoliruyushchie svoystva poliuretanovykh elastomerov, primenyaemykh v stroitelstve [Vibration Isolation Properties of Polyurethane Elastomers Used in Construction]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2017. No. 6(74). Pp. 53-60. doi:10.18720/MCE.74.5 (rus).
5. Yasafova S.A. Issledovanie optimizatsii vibroizoliruyushchikh materialov stroitelnykh konstruktсий [Study of Optimization of Vibration Isolation Materials for Building Structures]. *E-Scio*. 2021. No. 2(53). (rus).
6. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration. *Guidelines for Vibration Prediction in Rail Projects*. 2020.
7. Cortazar-Noguerol J., Cortés F., Sarría I., Elejabarrieta M.J. Preload Influence on the Dynamic Properties of a Polyurethane Elastomeric Foam. *Polymers*. 2024. Vol. 16, No. 13. 1844. doi:10.3390/polym16131844
8. Somarathna H.M.C.C., Raman S.N., Mohotti D., Mutalib A.A., Badri K.H. The Use of Polyurethane for Structural and Infrastructural Engineering Applications: A State-of-the-Art Review. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 190. Pp. 995-1014.
9. Ngamkhanong C., Kaewunruen S. Effects of under Sleeper Pads on Dynamic Responses of Railway Prestressed Concrete Sleepers Subjected to High Intensity Impact Loads. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 214. 110604.
10. Gusev V.P. Opyt borby s shumom oborudovaniya inzhenernykh sistem [Experience in Combating Noise from Engineering Systems Equipment]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2009. No. 5. (rus).
11. Mohammad K., Asthana A., Cockerham G., Almond M. Innovative acoustic jacketing for oil and gas pipelines. *Proceedings of 6th World PetroCoal Congress*. New Delhi, India, 2016.
12. Anton Paar GmbH. Basics of Dynamic Mechanical Analysis (DMA). URL: <https://wiki.anton-paar.com/us-en/basics-of-dynamic-mechanical-analysis-dma>
13. Tain Instruments. Introduction to dynamic mechanical analysis and its application to testing of polymer solids. 2023. URL: <https://www.tainstruments.com/applications-notes/introduction-to-dynamic-mechanical-analysis-and-its-application-to-testing-of-polymer-solids>
14. Xu Y., Dong Y., Huang X., Luo Y., Zhao S. Properties Tests and Mathematical Modeling of Viscoelastic Damper at Low Temperature With Fractional Order Derivative. *Frontiers in Materials*. 2019. Vol. 6. 194. doi:10.3389/fmats.2019.00194
15. Lucklum R., Soares D. Viscoelastic Properties of Macromolecules. In: *Piezoelectric Transducers and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. doi:10.1007/978-3-540-77508-9_7
16. Ferry J.D. *Vyazkouprugie svoystva polimerov* [Viscoelastic Properties of Polymers]. Moscow: Izdatinlit, 1963. 536 p. (rus).
17. Christensen R. *Vvedenie v mekhaniku kompozitov* [Introduction to Mechanics of Composites]. Moscow: Mir, 1982. 336 p. (rus).
18. Pritz T. Five-parameter fractional derivative model for polymeric damping materials. *Journal of Sound and Vibration*. 2003. Vol. 265. Pp. 935-952. doi:10.1016/S0022-460X(02)01530-4
19. Bagley R.L., Torvik P.J. Fractional Calculus—A Different Approach to the Analysis of Viscoelastically Damped Structures. *AIAA Journal*. 1983. Vol. 21. Pp. 741-748. doi:10.2514/3.8142
20. Koeller R.C. Applications of Fractional Calculus to the Theory of Viscoelasticity. *Journal of Applied Mechanics*. 1984. Vol. 51. Pp. 299-307. doi:10.1115/1.3167616
21. Rossikhin Y.A., Shitikova M.V. Applications of Fractional Calculus to Dynamic Problems of Linear and Nonlinear Hereditary Mechanics of Solids. *Applied Mechanics Reviews*. 1997. Vol. 50, No. 1. Pp. 15-67. doi:10.1115/1.3101682
22. Schiessel H., Metzler R., Blumen A., Nonnenmacher T. Generalized viscoelastic models: Their fractional equations with solutions. *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 1995. Vol. 28. Pp. 6567-6584. doi:10.1088/0305-4470/28/23/012
23. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. Comparative analysis of viscoelastic models involving fractional derivatives of different orders. *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 2007. Vol. 10.
24. Shitikova M.V. Fractional Operator Viscoelastic Models in Dynamic Problems of Mechanics of Solids: A Review. *Mechanics of Solids*. 2021. Vol. 57. doi:10.3103/S0025654422010022

Информация об авторах

Смирнов Владимир Александрович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия

Кандидат техн.наук, доцент кафедры Теоретической и строительной механики НИУ МГСУ, ведущий научный сотрудник лаборатории «Комплексные проблемы виброакустики» НИИСФ РААСН.

E-mail: belohvost@list.ru

Information about authors

Vladimir A. Smirnov

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Theoretical and Structural Mechanics Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); Leading Researcher at the "Complex Problems of Vibroacoustics" Laboratory, NIISF RAASN.

E-mail: belohvost@list.ru

Статья поступила в редакцию 07.05.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 14.06.2025

The article was submitted 07.05.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 14.06.2025

Вл.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, Т.А. ИЛЬЮЩЕНКО^{1,3}, С.С. ФЕДОРОВ¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

³ Курский государственный университет, г. Курск, Россия

ДЕФОРМИРОВАНИЕ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ В ЗАПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

Аннотация. Предложена модель статико-динамического деформирования сжатого бетона в предельном состоянии, применительно к расчетной схеме железобетонной рамы второго уровня при особом воздействии. Построены основные рабочие гипотезы для определения статико-динамического деформирования бетона и получены аналитические зависимости для определения предельных деформаций в бетоне сжатой зоны при переходе системы n -раз статически неопределимой в систему $(n - 1)$. Бетон сжатой зоны моделируется представительным объемом в виде бетонной призмы характерных размеров. Для железобетонной рамы построена расчетная модель первого уровня с пространственными сечениями, моделирующими сложное напряженное состояние в пространственной трещине сложнонапряженного ригеля. В элементах рамы с рассматриваемыми пространственными сечениями учитываются расстояния между трещинами и предельные деформации бетона, предшествующие разрушению.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, расчетные модели, сжатый бетон, представительный объем, статико-динамическое деформирование, особое воздействие, разрушение.

VI.I. KOLCHUNOV^{1,2}, T.A. ILIUSHCHENKO^{1,3}, S.S. FEDOROV¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

² Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

³Kursk State University, Kursk, Russia

DEFORMATION OF CONCRETE OF A REINFORCED CONCRETE FRAME IN THE ULTIMATE STATE

Abstract. A model of static-dynamic deformation of compressed concrete in the ultimate state is proposed, as applied to the calculation scheme of a second-level reinforced concrete frame under a special impact. The main working hypotheses for determining the static-dynamic deformation of concrete are constructed and analytical dependencies are obtained for determining the ultimate deformations in concrete of the compressed zone during the transition of the n -times statically indeterminate system to the $(n - 1)$ system. Concrete of the compressed zone is modeled by a representative volume in the form of a concrete prism of characteristic dimensions. For a reinforced concrete frame, a first-level calculation model with spatial sections simulating a complex stress state in a spatial crack of a complex-stressed beam is constructed. In the frame elements with the considered spatial sections, the distances between cracks and the ultimate deformations of concrete preceding destruction are taken into account.

Key words: reinforced concrete structures, calculation models, compressed concrete, representative volume, static-dynamic deformation, special impact, destruction.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: Моногр. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
2. Веружский Ю.В., Колчунов В.И. Методы механики железобетона. Киев: Кн. изд-во НАУ, 2005. 653 с.
3. Голышев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона: Моногр. Киев: Основа 2009. 432 с.
4. Голышев А.Б., Колчунов В.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: Моногр. Киев: Талком, 2015. 371 с.
5. Колчунов В. И., Федорова Н. В. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1. С. 115-119.
6. Kiakoouri F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidai M. R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // Engineering Structures. 2020. № December 2019 (206). С. 110061.
7. Hammad K., Lofti I., Naïem M. Enhancing Progressive Collapse Resistance in Existing Buildings // Design and Construction of Smart Cities. 2021. P. 39-46.
8. Митасов В.М., Адищев В.В. О применении энергетических соотношений в теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1990. № 4. С. 33-37.
9. Колчунов В.И., Демьянов А.И., Михайлов М.М. Расчетные модели статико-динамического деформирования системы железобетонных конструкций в момент разрушения сжатого бетона при кручении с изгибом // Строительная механика и расчет сооружений. 2019. № 2. С. 17-26.
10. Mohajeri Nav F. Analytical investigation of reinforced concrete frames under middle column removal scenario // Adv. Struct. Eng. 2018. № 21.9 P. 8–1401.
11. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях: Моногр. М.: Изд-во АСВ, 2004. 216 с.
12. Ahmadi R., Rashidian O., Abbasnia R., Mohajeri Nav F., Usefi N. Experimental and numerical evaluation of progressive collapse behavior in scaled RC beam-column subassembly // Shock and Vibration. 2016. T. 2016
13. Azim I., Yang J., Bhatta S., Wang F., Liu Q. F. Factors influencing the progressive collapse resistance of RC frame structures // Journal of Building Engineering. 2020. T. 27. С. 100986
14. Savin S., Kolchunov V., Fedorova N., Vu N.T. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // Buildings. 2023. Vol. 13, № 4. P. 908
15. Tur A., Tur V., Derechennik S., Lizogub A. An innovative safety format for structural system robustness checking // Budownictwo i Architektura. 2020. Vol. 19. P. 67–84
16. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. М.: Минстрой России, 2019. – 33с.
17. Федорова Н. В., Медянкин М.Д., Бушова О.Б. Определение параметров статико- динамического деформирования бетона // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 1. – С. 4-11. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.01.04-11.
18. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Издательство АСВ, 2014. 208 с
19. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сальников А.С., Михайлов М.М. Расчетные модели статико-динамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины // Строительство и реконструкция. 2017. № 3. С. 13-22.
20. Колчунов В. И., Демьянов А. И., Михайлов М. М. Статико-динамическое деформирование сжатого бетона в неопределимой железобетонной раме при изгибе с кручением Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 4(736). – С. 5-21. – DOI 10.32683/0536-1052-2020-736-4-5-21.
21. Kolchunov V. I., Moskovtseva V. S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion // Engineering Structures. – 2024. – Vol. 314. – P. 118309. – DOI 10.1016/j.engstruct.2024.118309.
22. Колчунов В.И. Метод расчетных моделей сопротивления для железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 3. С. 261–275. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-3-261-275>

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona [Calculation Models of Force Resistance of Reinforced Concrete]. Moscow: ASV Publishing House, 2004. 472 p. (rus).
2. Veruzhsky Yu.V., Kolchunov V.I. Metody mekhaniki zhelezobetona [Methods of reinforced concrete mechanics]. Kiev: NAU Book Publishing House. 2005. 653 p. (rus)

3. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Soprotivlenie zhelezobetona [Resistance of reinforced concrete]. Kiev: Osnova, 2009. (rus).
4. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Soprotivlenie zhelezobetonnykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij, vozvodimyh v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah [Resistance of reinforced concrete structures, buildings and constructions erected in complex engineering and geological conditions]: Monograph. Kyiv: Talkom, 2015. 371 p (rus).
5. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Nekotorye problemy zhivuchesti zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem pri avarijnyh vozdejstviyah [Some problems of survivability of reinforced concrete structural systems under emergency impacts] // *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2018. No. 1. pp. 115-119. (rus).
6. Kiakojoury F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidaii M. R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // *Engineering Structures*. 2020. No December 2019 (206). C. 110061.
7. Hammad K., Loftly I., Naieem M. Enhancing Progressive Collapse Resistance in Existing Buildings // *Design and Construction of Smart Cities*. 2021. P. 39-46.
8. Mitasov V.M., Adishchev V.V. O primenenii energeticheskikh sootnoshenij v teorii soprotivleniya zhelezobetona [On the application of energy relations in the theory of resistance of reinforced concrete] // *News of universities. Construction and architecture*. 1990. No. 4. P. 33-37(rus).
9. Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Mikhailov M.M. Raschetnye modeli statiko-dinamicheskogo deformirovaniya sistemy zhelezobetonnykh konstrukcij v moment razrusheniya szhatogo betona pri kruchenii s izgibom [Calculation models of static-dynamic deformation of a system of reinforced concrete structures at the moment of destruction of compressed concrete under torsion with bending] // *Structural mechanics and calculation of structures*. 2019. No. 2. P. 17-26 (rus).
10. Mohajeri Nav F. Analytical investigation of reinforced concrete frames under middle column removal scenario // *Adv. Struct. Eng.* 2018. № 21.9 P. 1388–1401.
11. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri zaproektnyh vozdejstviyah [Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond-design influences]. M.: ASV, 2004. 216 p. (rus).
12. Ahmadi R., Rashidian O., Abbasnia R., Mohajeri Nav F., Usefi N. Experimental and numerical evaluation of progressive collapse behavior in scaled RC beam-column subassembly // *Shock and Vibration*. 2016. T. 2016
13. Azim I., Yang J., Bhatta S., Wang F., Liu Q. F. Factors influencing the progressive collapse resistance of RC frame structures // *Journal of Building Engineering*. 2020. T. 27. C. 100986
14. Savin S., Kolchunov V., Fedorova N., Vu N.T. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // *Buildings*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 908
15. Tur A., Tur V., Derechennik S., Lizogub A. An innovative safety format for structural system robustness checking // *Budownictwo i Architektura*. 2020. Vol. 19. P. 67–84
16. SP 385.1325800. 2018. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozeniya [Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. The main provisions]. M.: Standartinform, 2018. P. 19 (rus).
17. Fedorova N. V., Medyankin M. D., Bushova O. B. Opredelenie parametrov statiko- dinamicheskogo deformirovaniya betona [Determination of parameters of static-dynamic deformation of concrete] // *Industrial and civil engineering*. - 2020. - No. 1. - P. 4-11. - DOI 10.33622/0869-7019.2020.01.04-11 (rus).
18. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.V., Bukhtiyarova A.S. ZHivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnyh vozdejstviyah [Survivability of buildings and structures under beyond-design influences]. M.: ASV Publishing House, 2014. 208 p. (rus)
19. Demyanov A.I., Kolchunov V.I., Salnikov A.S., Mikhailov M.M. Raschetnye modeli statiko-dinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnoj konstrukcii pri kruchenii s izgibom v moment obrazovaniya prostranstvennoj treshchiny [Calculation models of static-dynamic deformation of a reinforced concrete structure under torsion with bending at the moment of formation of a spatial crack] // *Construction and reconstruction*. 2017. No. 3. P. 13-22 (rus)
20. Kolchunov V. I., Demyanov A. I., Mikhailov M. M. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie szhatogo betona v neopredelimoj zhelezobetonnoj rame pri izgibe s krucheniem [Static-dynamic deformation of compressed concrete in an indeterminate reinforced concrete frame under bending with torsion] // *News of higher educational institutions. Construction*. - 2020. - No. 4 (736). - P. 5-21. - DOI 10.32683/0536-1052-2020-736-4-5-21 (rus)
21. Kolchunov V. I., Moskovtseva V. S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion // *Engineering Structures*. – 2024. – Vol. 314. – P. 118309. – DOI 10.1016/j.engstruct.2024.118309.
22. Kolchunov V.I. Metod raschetnykh modelej soprotivleniya dlya zhelezobetona [Method of calculation models of resistance for reinforced concrete] // *Structural mechanics of engineering structures and constructions*. 2023. Vol. 19. No. 3. P. 261–275. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-3-261-275> (rus)

Информация об авторах:

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и компьютерного моделирования.

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,

ведущий научный сотрудник.

E-mail: vlik52@mail.ru

Ильющенко Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия, старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, начальник отдела технического нормирования в области строительства

E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Федоров Сергей Сергеевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной графики и компьютерного моделирования

E-mail: fedorovss@mgsu.ru

Information about authors:

Kolchunov Vladimir Iv.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia,

Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.

Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,

leading researcher.

E-mail: vlik52@mail.ru

Iliushchenko Tatiana A.

Kursk State University, Kursk, Russia

Senior Lecturer of the Department of Industrial and Civil Engineering. construction.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, Moscow, Russia,

Head of the Department of Technical Standardization in the field of construction.

E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Fedorov Sergey S.

Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, head of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.

E-mail: fedorovss@mgsu.ru

Статья поступила в редакцию 04.05.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 04.05.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

Т.А. МАЦЕЕВИЧ¹, С.А. ДАНКОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия**ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Аннотация. В работе рассмотрен экспериментальный метод оценки деградации физико-механических свойств стальных элементов, подверженных ускоренной коррозии.

Исследование основывается на испытаниях образцов из стали СтЗпс с тремя выборками по типам профильных сечений (круглое, прямоугольное, уголок). Методика включает два этапа: электрохимическую коррозию в 5% растворе NaCl с фиксацией потери массы и толщины стенок образцов, а также механические испытания на растяжение эталонных полос, полученных, в соответствии с ГОСТ 7564-73. Для проверки изменения физико-механических свойств металла от действия коррозии и конкретно его охрупчивания экспериментально проверялась зависимость коррозионной стойкости стальных элементов от формы их поперечного сечения и геометрических параметров.

Ключевые слова: стальной элемент, физико-механические свойства, модуль упругости, предел текучести, электрохимическая коррозия, охрупчивание.

T.A. MATSEEVICH¹, S.A. DANKOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia**INFLUENCE OF CORROSION ON PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF ELEMENTS OF TRUSS
STRUCTURES**

Abstract. The paper considers an experimental method for assessing the degradation of physical and mechanical properties of steel elements subjected to accelerated corrosion.

The study is based on tests of St3ps steel specimens with three samples by types of profile sections (round, rectangular, angle). The methodology includes two stages: electrochemical corrosion in 5% NaCl solution with fixation of mass loss and wall thickness of samples, as well as mechanical tensile tests of reference strips obtained in accordance with GOST 7564-73. To check the change of physical and mechanical properties of the metal from the action of corrosion and specifically its embrittlement, the dependence of corrosion resistance of steel elements on the shape of their cross-section and geometric parameters was experimentally tested.

Keywords: steel element, physical and mechanical properties, elastic modulus, yield strength, electrochemical corrosion, embrittlement.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bastidas-Arteaga, E., Chateaufneuf, A., Sánchez-Silva, M., Bressolette, P., & Schoefs, F. (2013). Influence of weather and global warming in chloride ingress into concrete: A stochastic approach. *Structural Safety*, Vol. 40, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.strusafe.2012.08.004.
2. Biondini, F., & Frangopol, D.M. (2016). Life-cycle performance of deteriorating structural systems under uncertainty: Review. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 142, No. 9, Art. F4016001. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001544.
3. Kim, S., & Surendran, S. (2014). Residual strength assessment of corroded steel plates using nonlinear finite element analysis. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 9, Art. 04014056. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000968.
4. Val, D.V., & Trapper, P.A. (2008). Probabilistic evaluation of initiation time of chloride-induced corrosion. *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, No. 4, pp. 589–596. DOI: 10.1016/j.cemconres.2007.11.007.
5. Ellingwood, B.R. (2005). Risk-informed condition assessment of civil infrastructure: State of practice and research issues. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 7–18. DOI: 10.1080/15732470412331289314.
6. Saassouh, B., & Lounis, Z. (2012). Reliability Engineering & System Safety.
7. Saassouh, B., & Lounis, Z. (2012). Probabilistic modeling of corrosion damage in concrete structures. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 107, pp. 11–19. DOI: 10.1016/j.res.2012.02.003.
8. Тамразян А.Г. (2024). Усталостное поведение изгибаемых железобетонных балок при коррозии, Железобетонные конструкции. 2024. Т. 6. № 2. С. 22-34.
9. Тамразян А.Г., Мацеевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой, Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 89-98.
10. Мацеевич Т.А., Данков С.А. К оценке надежности коррозионно-поврежденных стержневых конструкций с использованием цепей Маркова на примере металлических ферм, в сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2023. Сборник докладов IV Национальной научной конференции. Москва, 2024. С. 630-634.
11. Федосов С.В., Румянцев В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А. Развитие математических моделей, описывающих процессы коррозии в бетонных и железобетонных конструкциях, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 3. С. 85-93.
12. Melchers, R.E. (2008). Deterioration of steel structures due to atmospheric corrosion. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, Vol. 43, No. 3, pp. 178–185. DOI: 10.1179/174327808X325236.
13. Stewart, M.G., & Deng, X. (2015). Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. *Engineering Structures*, Vol. 87, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.01.013.
14. Li, C.Q., Yang, S., & Saassouh, B. (2016). Моделирование распространения коррозии в железобетонных конструкциях. Исследования цемента и бетона, том 89, стр. 1-12. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.07.015.
15. Селяев В.П., Неверов В.А., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Юдина О.А. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона // Magazine of Civil Engineering. – 2014. – № 1. – С. 41-52.
16. Колчунов В.И. Развитие методов анализа надежности усиливаемых конструкций при техногенных воздействиях. – М.: РААСН, 2004. – 210 с.
17. Лебедев, В. А., и др. (2017). Коррозия и защита строительных конструкций. Стройиздат, 2017. ISBN 978-5-274-06024-5.
18. Vu, K.A.T., & Stewart, M.G. (2000). Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. *Structural Safety*, Vol. 22, No. 4, pp. 313–333. DOI: 10.1016/S0167-4730(00)00018-7.
19. Melchers, R.E. (2008). Marine corrosion of structural steel. *Marine Structures*, Vol. 21, No. 2-3, pp. 72–88. DOI: 10.1016/j.marstruc.2008.03.004.
20. Wang, Y., Li, S., & Zhang, L. (2020). Corrosion behavior of steel with different cross-sectional shapes in chloride environments. *Construction and Building Materials*, Vol. 262, Art. 120801. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120801.
21. Bai, Y., Wang, Q., & Li, Y. (2020). Деградация механических свойств конструкционной стали под действием коррозии: Экспериментальное и численное исследование. Строительство и строительные материалы, том 252, ст. 119061. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119061.
22. Guo, A., Li, H., & Zhao, Y. (2019). Experimental study on the influence of geometric parameters on corrosion resistance of steel sections. *Thin-Walled Structures*, Vol. 145, Art. 106414. DOI: 10.1016/j.tws.2019.106414.

22. Zhang, W., Li, Y., & Zheng, J. (2017). Probabilistic modeling of pitting corrosion in steel structures. *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 48, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.probengmech.2017.03.002.
23. Chen, H., & Alani, A.M. (2013). Reliability-based assessment of corroded steel structures using advanced fracture mechanics. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 35, pp. 216–227. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.02.016.
24. European Committee for Standardization (CEN). (2005). Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-1. Brussels, Belgium.
25. International Organization for Standardization (ISO). (2012). Corrosion of metals and alloys — Classification of environmental conditions. ISO 9223. Geneva, Switzerland.

REFERENCES

1. Bastidas-Arteaga, E., Chateauneuf, A., Sánchez-Silva, M., Bressollette, P., & Schoefs, F. (2013). Influence of weather and global warming in chloride ingress into concrete: A stochastic approach. *Structural Safety*, Vol. 40, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.strusafe.2012.08.004.
2. Biondini, F., & Frangopol, D.M. (2016). Life-cycle performance of deteriorating structural systems under uncertainty: Review. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 142, No. 9, Art. F4016001. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001544.
3. Kim, S., & Surendran, S. (2014). Residual strength assessment of corroded steel plates using nonlinear finite element analysis. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 9, Art. 04014056. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000968.
4. Val, D.V., & Trapper, P.A. (2008). Probabilistic evaluation of initiation time of chloride-induced corrosion. *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, No. 4, pp. 589–596. DOI: 10.1016/j.cemconres.2007.11.007.
5. Ellingwood, B.R. (2005). Risk-informed condition assessment of civil infrastructure: State of practice and research issues. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 7–18. DOI: 10.1080/15732470412331289314
6. Saassouh, B., & Lounis, Z. (2012). Reliability Engineering & System Safety. DOI: 10.1080/15732470412331289314
7. Saassouh, B., & Lounis, Z. (2012). Probabilistic modeling of corrosion damage in concrete structures. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 107, pp. 11–19. DOI: 10.1016/j.res.2012.02.003.
8. Tamrazyan A.G. (2024). Fatigue behavior of bendable reinforced concrete beams under corrosion, *Reinforced Concrete Structures*. 2024. T. 6. № 2. С. 22-34.
9. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. ANALYSIS OF RELIABILITY OF REINforced Concrete Slabs with Corroded Armature, *Construction and Reconstruction*. 2022. № 1 (99). С. 89-98.
10. Matseevich T.A., Dankov S.A. Towards the Reliability Assessment of Corrosion-Damaged Sturgeon Structures with the Use of Markov Chains as an Example of Metal Forms, in *Collection: Actual Problems of Construction Industry and Education - 2023*. Collection of reports of the IV National Scientific Conference. Moscow, 2024. С. 630-634.
11. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. Development of MATHEMATICAL MODELS DESCRIBING CORROSION PROCESSES IN BETON AND REINforced Concrete Structures, *Bulletin of Volga Region State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*. 2020. № 3. С. 85-93.
12. Melchers, R.E. (2008). Deterioration of steel structures due to atmospheric corrosion. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, Vol. 43, No. 3, pp. 178–185. DOI: 10.1179/174327808X325236.
13. Stewart, M.G., & Deng, X. (2015). Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. *Engineering Structures*, Vol. 87, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.01.013.
14. Li, C.Q., Yang, S., & Saassouh, B. (2016). Modeling corrosion propagation in reinforced concrete structures. *Cement and Concrete Research*, Vol. 89, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.07.015.
15. Selyaev V.P., Neverov V.A., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Yudina O.A. (2014). Forecasting the durability of reinforced concrete structures considering sulfate corrosion of concrete. *Magazine of Civil Engineering*, 1, 41-52.
16. Kolchunov V.I. Development of methods for analyzing the reliability of reinforced structures under technogenic influences. - M.: RAASN, 2004. - 210 c.
17. Lebedev, V. A., et al. (2017). Corrosion and protection of building structures. Stroyizdat, 2017. ISBN 978-5-274-06024-5.
18. Vu, K.A.T., & Stewart, M.G. (2000). Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. *Structural Safety*, Vol. 22, No. 4, pp. 313–333. DOI: 10.1016/S0167-4730(00)00018-7.
19. Melchers, R.E. (2008). Marine corrosion of structural steel. *Marine Structures*, Vol. 21, No. 2-3, pp. 72–88. DOI: 10.1016/j.marstruc.2008.03.004.
20. Wang, Y., Li, S., & Zhang, L. (2020). Corrosion behavior of steel with different cross-sectional shapes in chloride environments. *Construction and Building Materials*, Vol. 262, Art. 120801. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120801.
21. Bai, Y., Wang, Q., & Li, Y. (2020). Corrosion-induced degradation of mechanical properties in structural steel: Experimental and numerical study. *Construction and Building Materials*, Vol. 252, Art. 119061. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119061.
22. Guo, A., Li, H., & Zhao, Y. (2019). Experimental study on the influence of geometric parameters on corrosion resistance of steel sections. *Thin-Walled Structures*, Vol. 145, Art. 106414. DOI: 10.1016/j.tws.2019.106414.

22. Zhang, W., Li, Y., & Zheng, J. (2017). Probabilistic modeling of pitting corrosion in steel structures. Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 48, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.probengmech.2017.03.002.
23. Chen, H., & Alani, A.M. (2013). Reliability-based assessment of corroded steel structures using advanced fracture mechanics. Engineering Failure Analysis, Vol. 35, pp. 216–227. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.02.016.
24. European Committee for Standardization (CEN). (2005). Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-1. Brussels, Belgium.
25. International Organization for Standardization (ISO). (2012). Corrosion of metals and alloys — Classification of environmental conditions. ISO 9223. Geneva, Switzerland.

Информация об авторах:

Мацевич Татьяна Анатольевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
д.ф-м. н, профессор, E-mail: matseevichta@mgsu.ru

Данков Савелий Андреевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант, E-mail: olimp.botek@mail.ru

Information about authors:

Matseevich Tatiana A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Doctor Of Physical And Mathematical Sciences, Professor,
E-mail: matseevichta@mgsu.ru

Dankov Saveliy A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate student, E-mail: olimp.botek@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.04.2025
Одобрена после рецензирования 07.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 30.04.2025
Approved after reviewing 07.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Г.А. САДОЯН²^{1,2} ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ МЕСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Аннотация. Производство строительных конструкций сопровождается различными нарушениями технологических требований, вследствие чего могут возникнуть дефекты и повреждения бетона, которые приводят к снижению его прочности. К таким дефектам могут относиться поверхностные раковины и полости, трещины на различных участках и пустоты в бетоне. Наиболее чувствительными к такого рода дефектам и повреждениям являются железобетонные изгибаемые конструкции, в частности, плиты. Рассматривается влияние различных положений участков с дефектным бетоном на несущую способность шарнирно опертых и защемленных железобетонных изгибаемых плит. Построены графики, показывающие изменение несущей способности железобетонных изгибаемых плит в зависимости от значения прочности дефектного бетона и его местоположения. Установлено, что для шарнирно опертых плит наибольшую опасность представляют зоны с дефектным бетоном в пролете и в угловых опорных зонах, а для защемленных плит в середине опорной зоны и в пролете.

Ключевые слова: железобетонные плиты, местные дефекты бетона, несущая способность.

A.G. TAMRAZYAN¹, H.A. SADOYAN²^{1,2} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

LOAD-BEARING CAPACITY OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE SLABS WITH LOCAL CHANGES IN CONCRETE STRENGTH

Abstract. The production of building structures is accompanied by various violations of technological requirements, which may result in defects and damage to concrete, which lead to a decrease in its strength. Such defects may include surface cavities and cavities, cracks in various areas and voids in concrete. The most sensitive to such defects and damage are reinforced concrete bending structures, in particular, slabs. The influence of various positions of areas with defective concrete on the bearing capacity of hinged and clamped reinforced concrete bending slabs is considered. Graphs are constructed showing the change in the bearing capacity of reinforced concrete bending slabs depending on the strength value of the defective concrete and its location. It is established that for hinged supported slabs, the greatest danger is posed by zones with defective concrete in the span and in the corner support zones, and for clamped slabs in the middle of the support zone and in the span.

Keywords: reinforced concrete slabs, local defects of concrete, bearing capacity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. Москва: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2007. 255 с.
2. Ройтман А.Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий. Москва: Стройиздат, 1978. 319 с.
3. Добромислов А.Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство. 1990. № 9. С. 9-10.
4. Czazynsky A., Czazynsky M. Wyniki analiz katastrof konstrukcji budowlanych // Przegląd budowlany, 1988. № 12. P. 551-552.
5. Oehme P. Schäden an Stahltrawerken: Statistische Schadensanalyse Deachtung juristischer Aspekte. Berlin: Bauinformation, 1990. 40 s.
6. Болотова А.С. Трескина Г.Е. Системный анализ причин аварий в монолитном строительстве // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник материалов Международной научной конференции. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. С. 229-232.
7. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. Barselona: International Center for Numerical Methods in Engineering, 2002. P. 111-118.
8. Волков А.С. Влияние дефектов строительства на несущую способность железобетонных конструкций монолитного каркасного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 45-56.
9. Макарова П.П. Анализ дефектов железобетонных колонн монолитных каркасов многоэтажных зданий // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2022. № 1. С. 567-570.
10. Байбурун А.Х., Погорелов С.Н. Исследование неоднородности прочности монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 12-18.
11. Тамразян А.Г. Исследование влияния местной низкой прочности бетона на несущую способность изгибаемых железобетонных балок // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 5, № 1. С. 3-14.
12. Тамразян А.Г. Перераспределения усилий в статически неопределимых корродированных железобетонных балках // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 8, № 4. С. 5-13.
13. Тамразян А.Г., Кудрявцев М.В. Влияние коррозионных повреждений арматуры на динамическое состояние сжатых железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2025. №2. С. 81-93.
14. Тамразян А.Г., Мацевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. 2022. № 1(99). С. 89-98.
15. Butcher J.B., Day C.R., Austin J.C., Haycock P.W., Verstraeten D., Schrauwen B. Defect detection in reinforced concrete using random neural architectures // Computer aided civil and infrastructure engineering. 2014. №3. P. 191-207.
16. Губа В.В., Герасименко В.Г., Мастепан А.Н. Городничий А.В., Кротов Р.В. Особенности реологической модели вибрируемой бетонной смеси и ее влияние на прочность // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 3, № 9(45). С. 35-38.
17. Тамразян А. Г. Вероятностный метод расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021: Сборник докладов Второй Национальной научной конференции, Москва, 08 декабря 2021 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. С. 100-106.
18. Тамразян А.Г. Минеев М.С. Калибровка модели коррозионного растрескивания защитного слоя бетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 2(94). С. 56-62.
19. Карпепко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва: Стройиздат, 1996. 416 с.
20. Колчунов Вл.И. Модель расчета параметров предельных состояний железобетонных конструкций. // Строительство и реконструкция. 2025. №2. С. 4-13.
21. Колчунов Вл.И. Физическая суть сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин // Строительство и реконструкция. 2022. № 4(102). С. 15-33.
22. Городецкий А.С., Барабаш М.С. Учет нелинейной работы железобетона в ПК ЛИРА-САПР. Метод «Инженерная нелинейность» // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2016. Т. 12, №2. С.92-98.

REFERENCES

1. Perel'muter A.V. Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nyh konstrukcij. Moskva: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 2007. 255 s.
2. Rojtmán A.G. Remont i rekonstrukcija zhilyh i obshhestvennyh zdaniy. Moskva: Strojizdat, 1978. 319 s.
3. Dobromyslov A.N. Analiz aviarij promyshlennyh zdaniy i inzhenernyh sooruzhenij // Promysh-lennoe stroitel'stvo. 1990. № 9. S. 9-10.

4. Czazynsky A., Czazynsky M. Wyniki analiz katastrof konstrukcji budowlanych // Przegląd budowlany, 1988. № 12. P. 551-552.
5. Oehme P. Schöden an Stahltrawerken: Statistische Schadensanalyse Deachtung juristischer Aspekte. Berlin: Bauinformation, 1990. 40 s.
6. Bolotova A.S. Treskina G.E. Sistemnyj analiz prichin avarij v monolitnom stroitel'stve // Integracija, partnerstvo i innovacii v stroitel'noj nauke i obrazovanii: Sbornik materialov Mezhduna-rodnoj nauchnoj konferencii. Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2015. S. 229-232.
7. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. Barselona: International Center for Numerical Methods in Engineering, 2002. P. 111-118.
8. Volkov A.S. Vlijanie defektov stroitel'stva na nesushhuju sposobnost' zhelezobetonnyh konstrukcij monolitnogo karkasnogo zdaniya // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. № 2(29). S. 45-56.
9. Makarova P.P. Analiz defektov zhelezobetonnyh kolonn monolitnyh karkasov mnogoetazhnyh zdaniy // Inzhenernye kadry – budushhee innovacionnoj jekonomiki Rossii. 2022. № 1. S. 567-570.
10. Bajburin A.H., Pogorelov S.N. Issledovanie neodnorodnosti prochnosti monolitnyh konstrukcij // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. №3. S. 12-18.
11. Tamrazyan A.G. Issledovanie vlijaniya mestnoj nizkoj prochnosti betona na nesushhuju sposobnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh balok // Zhelezobetonnye konstrukcii. 2024. T. 5, № 1. S. 3-14.
12. Tamrazyan A.G. Pereraspredeleniya usilij v staticheski neopredelimej korrodirovannyh zhelezobetonnyh balkah // Zhelezobetonnye konstrukcii. 2024. T. 8, № 4. S. 5-13.
13. Tamrazyan A.G., Kudrjavcev M.V. Vlijanie korrozionnyh povrezhdenij armatury na dinamicheskoe sotojanie szhatyh zhelezobetonnyh konstrukcij // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2025. №2. S. 81-93.
14. Tamrazyan A.G., Maceevich T.A. Analiz nadezhnosti zhelezobetonnoj plity s korrodirovannoj armaturoj // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. № 1(99). S. 89-98.
15. Butcher J.B., Day C.R., Austin J.C., Haycock P.W., Verstraeten D., Schrauwen B. Defect detection in reinforced concrete using random neural architectures // Computer aided civil and infrastructure engineering. 2014. №3. P. 191-207.
16. Guba V.V., Gerasimenko V.G., Mastepan A.N. Gorodnichij A.V., Krotov R.V. Osobennosti reologicheskoy modeli vibriruemoy betonnoj smesi i ee vlijanie na prochnost' // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. 2010. T. 3, № 9(45). S. 35-38.
17. Tamrazyan A. G. Veroyatnostnyj metod rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij, podverzhennyh vozdejstviyu hlوريدов // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya – 2021: Sbornik dokladov Vtoroj Nacional'noj nauchnoj konferencii, Moskva, 08 dekabrya 2021 goda. Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2022. S. 100-106.
18. Tamrazyan A.G. Mineev M.S. Kalibrovka modeli korrozionnogo rastreskivaniya zashhitnogo sloja betona // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2021. № 2(94). S. 56-62.
19. Karpenko N.I. Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona. Moskva: Strojizdat, 1996. 416 s.
20. Kolchunov V.I. Model' rascheta parametrov predel'nyh sostojanij zhelezobetonnyh konstrukcij. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2025. №2. S. 4-13.
21. Kolchunov V.I. Fizicheskaja sut' soprotivleniya betona i zhelezobetona ot dislokacij do treshhin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. № 4(102). S. 15-33.
22. Gorodeckij A.S., Barabash M.S. Uchet nelinejnoj raboty zhelezobetona v PK LIRA-SAPR. Metod «Inzhenernaja nelinejnost'» // Mezhdunarodnyj zhurnal po raschetu grazhdanskih i stroitel'nyh konstrukcij. 2016. T. 12, №2. S.92-98.

Информация об авторах

Тамразян Ашот Георгиевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: tamrazian@mail.ru

Садоян Гамлет Андрикович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

Аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: sadoyangamlet@mail.ru

Information about authors

Tamrazyan Ashot G.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,

Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: tamrazian@mail.ru

Sadoyan Hamlet A.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,
Postgraduate student.
E-mail: sadoyangamlet@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.03.2025
Одобрена после рецензирования 12.06.2025
Принята к публикации 14.06.2025

The article was submitted 30.03.2025
Approved after reviewing 12.06.2025
Accepted for publication 14.06.2025

В.С. ФЕДОРОВ¹, В.Е. ЛЕВИТСКИЙ¹¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

Аннотация. Данная статья является первой в цикле статей, посвященных обобщению и анализу многочисленных опубликованных материалов по исследованию механических свойств бетона при нагреве. Необходимость изучения влияния температуры нагрева на механические характеристики бетона обусловлена необходимостью их использования в применяемых практических методиках расчёта по оценке огнестойкости конструкций. Дано представление об объёме имеющихся исследовательских программ, их доступности и различии. Описаны результаты многочисленных и разноплановых исследований прочностных и деформативных характеристик бетона, подтвержденные специальными методами исследования на воздействие температуры. Исследования механических свойств бетона при нагреве проводились по разным методам испытания, различных видов и составов бетона, что привело к большому разнообразию данных, что трудно установить какие-то закономерности. Связь напряжений и деформаций для бетона при нагреве не удаётся получить из опытов в прямом виде и необходима методика определения требуемых характеристик. Сделан вывод о необходимости стандартизации условий испытаний, научного обобщения, структурирования и анализа выявленного многообразия результатов исследования механических свойств бетона при нагреве, способное объяснить существующие закономерности и предсказать новые.

Ключевые слова: бетон, огнестойкость, нагрев под нагрузкой, диаграмма деформирования, модуль упругости при нагреве, разделение компонентов деформации, модель термостатического сопротивления.

V.S. FEDOROV¹, V.E. LEVITSKY¹¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR STUDYING THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Abstract. This article is the first in a series of articles devoted to the generalization and analysis of numerous published materials on the study of mechanical properties of concrete during heating. The need to study the effect of heating temperature on the mechanical characteristics of concrete is due to the need for their use in applied practical calculation methods for assessing the fire resistance of structures. An idea is given about the scope of the available research programs, their accessibility and differences. The results of numerous and diverse studies of the strength and deformation characteristics of concrete are described, confirmed by special methods of studying the effects of temperature. Studies of the mechanical properties of concrete during heating were carried out using various testing methods, different types and compositions of concrete, which led to a wide variety of data, which makes it difficult to establish any patterns. The relationship between stresses and deformations for concrete during heating cannot be obtained from experiments in direct form, and a methodology is needed to determine the required characteristics. The conclusion is made about the need for standardization of test conditions, scientific generalization, structuring and analysis of the revealed variety of results of studying the mechanical properties of concrete during heating, which can explain existing patterns and predict new ones.

Keywords: concrete, fire resistance, heating under load, deformation diagram, modulus of elasticity under heating, separation of deformation components, thermal force resistance model.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Furamura F. Stress-strain Curve of Concrete at High Temperatures // Transactions of the Architectural Institute of Japan, Abstract No 7004. 1966. p. 686.
2. Baldwin R., North M.A. Stress-strain Curves of Concrete at High Temperature – A Review / Fire Research Station, Borehamwood, Herts. Note No.785. October 1969. 15 p.
3. Baldwin R., North M.A. A Stress-strain Relationship for Concrete at High Temperature // Magazine of Concrete Research. 1973. Vol. 25. Issue 85. Pp. 208-212. DOI: 10.1680/mac.1973.25.85.208
4. Smith G.M., Young L.E. Ultimate Flexural Analysis on Stress-Strain Curves for Cylinders // ACI Journal Proceedings. 1956. Vol. 53. Issue 12. Pp. 597-609. DOI: 10.14359/11531
5. Hognestad E. A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members. Bulletin No. 399. University of Illinois Engineering, Experiment Station. Urbana, Illinois. 1951. 134 p.
6. Malhotra H.L. The effect of temperature on the compressive strength of concrete // Magazine of Concrete Research. 1956. Vol. 8. No. 3. pp. 85-94.
7. Abrams M.S. Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600°F / ACI Special Publication SP-25 Temperature and Concrete. American Concrete Institute. 1971. pp. 33–58.
8. Cruz C.R. Apparatus for Measuring Creep of Concrete at Elevated Temperature // Journal of the PCA Research and Development Laboratories. Bulletin 225. Portland Cement Associations. 1968. V. 10. No. 3. Pp. 36–42.
9. ACI 216R-89. Guide for Determining Fire Endurance of Concrete Elements. / American Concrete Institute, ACI Committee 216. Farmington Hills, Michigan, 1989. 48 pp.
10. Hansen C.T., Eriksson L. Temperature Change Effect on Behavior of Cement Paste, Mortar, and Concrete under Load // ACI Journal Proceedings. 1966. Vol. 63. No. 4. Pp. 489–502.
11. Anderberg Y., Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
12. Schneider U. Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Habilitationsschrift. Heft 42. Technischen Universität Braunschweig. 1979. 180 p.
13. Schneider U. Behaviour of Concrete at High Temperature. HEFT 337. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Wilhelm Ernst & Sohn, Munich, Germany, 1982.
14. Naus D.J. The Effect of Elevated Temperature on Concrete Materials and Structures – A Literature Review / U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Oak Ridge National Laboratory. Washington, DC. 2005. 204 p.
15. Naus D.J. A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures / U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Oak Ridge National Laboratory. Washington, DC. 2010. 328 p.
16. Willam K., Xi Y., Lee K., Kim B. Thermal Response of Reinforced Concrete Structures in Nuclear Power Plants / SESM No. 02-2009. Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder. 2009. 210 p.
17. Knaack A.M., Kurama Y.C., Kirkner D.J. Stress-Strain Properties of Concrete under Elevated Temperatures / Structural Engineering Research Report University of Notre Dame (NDSE-09-01). Notre Dame, Indiana. 2009. 130 p.
18. Phan L.T., McAllister T.P., Gross J.L., Hurley M.J. Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings / NIST Technical Note 1681. National Institute of Standards and Technology, Society of Fire Protection Engineers. 2010. 217 p.
19. Alogla S., Kodur V. Temperature-Induced Transient Creep Strain in Fiber-Reinforced Concrete. Cement and Concrete Composites. 2020. Vol. 113. 103719. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103719.
20. Яковлев А.И. Расчёт огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
21. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.
22. Милованов А.Ф., Зиновьев В.Н. Деформации высокопрочного бетона при кратковременном нагреве // Бетон и железобетон. 1981. №9.
23. Милованов А.Ф. Методы определения физико-механических свойств бетона для условий пожара. // Пути повышения огнестойкости строительных материалов и конструкций: Материалы семинара МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского. – М.: Знание, 1982. – С. 81-85.
24. Олимпиев В.Г. О методике исследования прочности и деформативности бетона при высоких температурах в условиях пожара // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО, 1973. – Вып. 1. – С.44-64.

25. Олимпиев В.Г., Зенков Н.И. Исследование прочностных и деформативных свойств тяжелого силикатного бетона при воздействии высоких температур // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО, 1975. – Вып. 3. – С. 24-36.
26. Олимпиев В.Г., Зенков Н.И., Сорокин А.Н. Исследование прочности и деформативности лёгкого бетона при высоких температурах // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО, 1976. – Вып. 4. – С. 23-33.
27. Зенков Н.И., Зависнова Л.М. Прочность и деформативность бетона на гранитном заполнителе при действии высоких температур. // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО, 1977. – Вып. 5. – С. 88-94.
28. Franssen J.-M. Plastic Analysis of Concrete Structures Subjected to Fire. Proceedings of the Workshop Fire Design of Concrete Structures: What now? What next? Milano. 2005. Pp.133-145.

REFERENCES

1. Furamura F. Stress-strain Curve of Concrete at High Temperatures. *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, Abstract No 7004. 1966. P. 686.
2. Baldwin R., North M.A. Stress-strain Curves of Concrete at High Temperature - A Review. *Fire Research Station, Borehamwood, Herts. Note No.785*. October 1969. 15 p.
3. Baldwin R., North M.A. A Stress-strain Relationship for Concrete at High Temperature. *Magazine of Concrete Research*. 1973. Vol. 25. Issue 85. Pp. 208-212. DOI: 10.1680/macr.1973.25.85.208
4. Smith G.M., Young L.E. Ultimate Flexural Analysis on Stress-Strain Curves for Cylinders. *ACI Journal Proceedings*. 1956. Vol. 53. Issue 12. Pp. 597-609. DOI: 10.14359/11531
5. Hognestad E. *A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members*. Bulletin No. 399. University of Illinois Engineering, Experiment Station. Urbana, Illinois. 1951. 134 p.
6. Malhotra H.L. The effect of temperature on the compressive strength of concrete. *Magazine of Concrete Research*. 1956. Vol. 8. No. 3. Pp. 85-94.
7. Abrams M.S. Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600°F. *ACI Special Publication SP-25 Temperature and Concrete*. American Concrete Institute. 1971. Pp. 33-58.
8. Cruz C.R. Apparatus for Measuring Creep of Concrete at Elevated Temperature. *Journal of the PCA Research and Development Laboratories*. Bulletin 225. Portland Cement Associations. 1968. Vol. 10. No. 3. Pp. 36-42.
9. *ACI 216R-89. Guide for Determining Fire Endurance of Concrete Elements*. American Concrete Institute, ACI Committee 216. Farmington Hills, Michigan, 1989. 48 p.
10. Hansen C.T., Eriksson L. Temperature Change Effect on Behavior of Cement Paste, Mortar, and Concrete under Load. *ACI Journal Proceedings*. 1966. Vol. 63. No. 4. Pp. 489-502.
11. Anderberg Y., Thelandersson S. *Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model*. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
12. Schneider U. *Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen*. Habilitationsschrift. Heft 42. Technischen Universität Braunschweig. 1979. 180 p.
13. Schneider U. *Behaviour of Concrete at High Temperature*. HEFT 337. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Wilhelm Ernst & Sohn, Munich, Germany, 1982.
14. Naus D.J. *The Effect of Elevated Temperature on Concrete Materials and Structures - A Literature Review*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Oak Ridge National Laboratory. Washington, DC. 2005. 204 p.
15. Naus D.J. *A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Oak Ridge National Laboratory. Washington, DC. 2010. 328 p.
16. Willam K., Xi Y., Lee K., Kim B. *Thermal Response of Reinforced Concrete Structures in Nuclear Power Plants*. SESM No. 02-2009. Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder. 2009. 210 p.
17. Knaack A.M., Kurama Y.C., Kirkner D.J. *Stress-Strain Properties of Concrete under Elevated Temperatures*. Structural Engineering Research Report University of Notre Dame (NDSE-09-01). Notre Dame, Indiana. 2009. 130 p.
18. Phan L.T., McAllister T.P., Gross J.L., Hurley M.J. *Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings*. NIST Technical Note 1681. National Institute of Standards and Technology, Society of Fire Protection Engineers. 2010. 217 p.
19. Alogla S., Kodur V. Temperature-Induced Transient Creep Strain in Fiber-Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 113. 103719. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103719.

20. Yakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy* [Calculation of Fire Resistance of Building Structures]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 143 p. (rus).
21. Milovanov A.F. *Stoykost zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare* [Resistance of Reinforced Concrete Structures in Fire]. Moscow: Stroyizdat, 1998. 304 p. (rus).
22. Milovanov A.F., Zinoviev V.N. Deformatsii vysokoprochnogo betona pri kratkovremennom nagreve [Deformations of High-Strength Concrete under Short-Term Heating]. *Beton i zhelezobeton*. 1981. No. 9. (rus).
23. Milovanov A.F. Metody opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv betona dlya usloviy pozhara [Methods for Determining Physical and Mechanical Properties of Concrete for Fire Conditions]. *Puty povysheniya ognestoykosti stroitelnykh materialov i konstruksiy: Materialy seminar MDNTP im. F.E. Dzerzhinskogo*. Moscow: Znanie, 1982. Pp. 81-85. (rus).
24. Olimpiyev V.G. O metodike issledovaniya prochnosti i deformativnosti betona pri vysokikh temperaturakh v usloviyakh pozhara [On the Methodology for Studying the Strength and Deformability of Concrete at High Temperatures under Fire Conditions]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy*. Moscow: VNIPO, 1973. Iss. 1. Pp. 44-64. (rus).
25. Olimpiyev V.G., Zenkov N.I. Issledovanie prochnostnykh i deformativnykh svoystv tyazhelogo silikatnogo betona pri vozdeystvii vysokikh temperatur [Study of Strength and Deformation Properties of Heavy Silicate Concrete under High Temperatures]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy*. Moscow: VNIPO, 1975. Iss. 3. Pp. 24-36. (rus).
26. Olimpiyev V.G., Zenkov N.I., Sorokin A.N. Issledovanie prochnosti i deformativnosti lyogkogo betona pri vysokikh temperaturakh [Study of Strength and Deformability of Lightweight Concrete at High Temperatures]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy*. Moscow: VNIPO, 1976. Iss. 4. Pp. 23-33. (rus).
27. Zenkov N.I., Zavismova L.M. Prochnost i deformativnost betona na granitnom zapolnitele pri deystvii vysokikh temperatur [Strength and Deformability of Granite Aggregate Concrete under High Temperatures]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy*. Moscow: VNIPO, 1977. Iss. 5. Pp. 88-94. (rus).
28. Franssen J.-M. Plastic Analysis of Concrete Structures Subjected to Fire. *Proceedings of the Workshop Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?* Milano. 2005. Pp. 133-145.

Информация об авторе

Федоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»,
E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Левитский Валерий Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»,
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

Information about author

Fedorov Victor S.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
doct in tech. sc., prof, head. of the dep. of Building Construction, Buildings and Structures,
E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Levitsky Valery E.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of Building Construction, Buildings and Structures,
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.04.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 12.04.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

Ю.В. ПУХАРЕНКО¹, Д.А. ПАНТЕЛЕЕВ¹, М.И. ЖАВОРОНКОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА ПОД НАГРУЗКОЙ

Аннотация. Статья посвящена исследованию особенностей деформирования и разрушения керамзитобетона, дисперсно армированного волокнами. Представлены результаты испытаний керамзитобетонных образцов, армированных высокомодульной базальтовой фиброй, а также низко модульной синтетической микро- и макрофиброй. Рассмотрены экспериментальные данные силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фиброкерамзитобетонных образцов, полученные экспериментально в соответствии с положениями ГОСТ 29167-2021 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении». Установлено, что армирование низко модульными синтетическими макро волокнами может привести к повышению прочности керамзитобетона, причем более значительному даже по сравнению с армированием высокомодульными базальтовыми волокнами. Однако достижение этой прочности будет сопровождаться значительными прогибами.

Ключевые слова: фибробетон, керамзитобетон, трещиностойкость, вязкость разрушения, деформации, критический коэффициент интенсивности напряжений, прочность.

Yu.V. PUKHARENKO¹, D.A. PANTELEEV¹, M.I. ZHAVORONKOV¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia

DEFORMABILITY OF DISPERSED REINFORCED EXPANDED CLAY CONCRETE UNDER LOAD

Abstract. The article is devoted to the study of the deformation and destruction characteristics of expanded clay concrete dispersively reinforced with fibers. The article presents the test results of expanded clay concrete samples reinforced with high-modulus basalt fiber, as well as low-modulus synthetic micro- and macrofiber. The article considers the experimental data on the strength and energy characteristics of crack resistance of fiber expanded clay concrete samples, obtained experimentally in accordance with the provisions of GOST 29167-2021 «Concrete. Methods for determining crack resistance characteristics (fracture toughness) under static loading». It was found that reinforcement with low-modulus synthetic macrofibers can lead to an increase in the strength of expanded clay concrete, and a more significant one even in comparison with reinforcement with high-modulus basalt fibers. However, achieving this strength will be accompanied by significant deflections.

Keywords: fiber concrete, expanded clay concrete, crack resistance, fracture toughness, deformation, critical stress intensity factor, strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова И.Н., Макридин Н.И. Технологические особенности формирования структуры и свойств конструкционных легких бетонов // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 2. С. 45–48.
2. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В. Особенности механического поведения и структурных изменений конструкционного керамзитобетона // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3 (40). С. 50–57.
3. Раупов Ч.С., Шермухамедов У.З., Маликов Г.Б. Сопоставление границ микротрещинообразования с длительной прочностью конструктивного керамзитобетона // Путь навигатор. 2022. № 52 (78). С. 34–43.
4. Семенюк С.Д., Москалькова Ю.Г. Определение границ образования микротрещин в зависимости от плотности керамзитобетона // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 4 (52). С. 129–136. DOI: 10.25987/VSTU.2018.52.4.012
5. Семенюк С.Д., Москалькова Ю.Г. Методики определения границ микротрещинообразования // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 7 (70). С. 22–30. DOI: 10.18720/CUBS.70.2
6. Абдуманонов А., Валиев Р.М., Каримов С.Н. Влияние структуры на вязкость разрушения керамзитобетона // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2010. Т. 53. № 6. С. 437–441.
7. Безгодов И.М., Заикин С.П. Полные диаграммы деформирования высокопрочного керамзитобетона // Технологии бетонов. 2020. № 7-8 (168-169). С. 33–37.
8. Митасов В.М., Коянкин А.А. О единстве подхода представления диаграмм деформирования разновозрастных и разнопрочных бетонов в сборно-монолитных конструкциях // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4 (55). С. 80–85.
9. Chiadighikaobi P.C., Jean P.V., Sserunjogi N. Performance evaluation of basalt fiber on the deflection strength of expanded clay concrete beam // Construction economics. 2020. № 6 (66). Pp. 66–79.
10. Москалькова Ю.Г., Ржевуцкая В.А. Полипропиленовая фибра как фактор снижения полных усадочных деформаций керамзитобетона // Научный журнал строительства и архитектуры. 2024. № 1 (73). С. 11–23. DOI: 10.36622/2541-7592.2024.73.1.001
11. Сизяков И.Д. Трещиностойкость бетона со стеклопластиковой и стальной фиброй // Инженерный вестник Дона. 2024. № 5 (113). С. 379–387.
12. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Жаворонков М.И. Влияние крупного заполнителя на энергетические и силовые характеристики сталефибробетона // Строительство и реконструкция. 2022. № 3 (101). С. 110–118. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-101-3-110-118
13. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Оценка эффективности дисперсного армирования бетонов по показателям прочности и трещиностойкости // Вестник СибАДИ. 2022, Т. 19, № 5 (87). С. 752–761. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-752-761
14. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плоскнапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95). С. 15–26. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26
15. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Развитие метода испытания трещиностойкости сталефибробетона // Экономика строительства. 2023. № 9. С. 132–137.
16. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143–147. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-143-147
17. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.301-310

REFERENCES

1. Maksimova I.N., Makridin N.I. Tekhnologicheskie osobennosti formirovaniya struktury i svoystv konstrukcionnyh legkih betonov // Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2012. № 2. Pp. 45–48. (rus)
2. Maksimova I.N., Makridin N.I., Polubarova Yu.V. Osobennosti mekhanicheskogo povedeniya i strukturnykh izmenenij konstrukcionnogo keramzitobetona // Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2019. № 3 (40). Pp. 50–57. (rus)
3. Raupov Ch.S., Shermukhamedov U.Z., Malikov G.B. Sopostavlenie granic mikrotreshchinoobrazovaniya s dlitel'noj prochnost'yu konstruktivnogo keramzitobetona // Putevoj navigator. 2022. № 52 (78). Pp. 34–43. (rus)
4. Semenyuk S.D., Moskal'kova Yu.G. Opredelenie granic obrazovaniya mikrotreshchin v zavisimosti ot plotnosti keramzitobetona // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. 2018. № 4 (52). Pp. 129–136. DOI: 10.25987/VSTU.2018.52.4.012 (rus)
5. Semenyuk S.D., Moskal'kova Yu.G. Metodiki opredeleniya granic mikrotreshchinoobrazovaniya // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. 2018. № 7 (70). Pp. 22–30. DOI: 10.18720/CUBS.70.2 (rus)
6. Abdumanonov A., Valiev R.M., Karimov S.N. Vliyanie struktury na vyazkost' razrusheniya keramzitobetona // Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan. 2010. T. 53. № 6. Pp. 437–441. (rus)

7. Bezgodov I.M., Zaikin S.P. Polnye diagrammy deformirovaniya vysokoprochnogo keramzitobetona // Tekhnologii betonov. 2020. № 7-8 (168-169). Pp. 33–37. (rus)
8. Mitasov V.M., Koyankin A.A. O edinstve podhoda predstavleniya diagramm deformirovaniya raznovozrastnyh i raznoprochnykh betonov v sborno-monolitnykh konstrukciyah // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. 2020. № 4 (55). Pp. 80–85. (rus)
9. Chiadighikaobi P.C., Jean P.V., Sserunjoji N. Performance evaluation of basalt fiber on the deflection strength of expanded clay concrete beam // Construction economics. 2020. № 6 (66). Pp. 66–79.
10. Moskal'kova Yu.G., Rzhnevskaya V.A. Polipropilenovaya fibra kak faktor snizheniya polnykh usadochnykh deformacij keramzitobetona // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. 2024. № 1 (73). Pp. 11–23. DOI: 10.36622/2541-7592.2024.73.1.001 (rus)
11. Sizyakov I.D. Treshchinostojkost' betona so stekloplastikovoj i stal'noj fibroj // Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 5 (113). Pp. 379–387. (rus)
12. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Morozov V.I., Zhavoronkov M.I. Vliyanie krupnogo zapolnitelya na energeticheskie i silovye harakteristiki stalefibrobetona // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2022. № 3 (101). Pp. 110–118. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-101-3-110-118 (rus)
13. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Zhavoronkov M.I. Ocenka effektivnosti dispersnogo armirovaniya betonov po pokazatelyam prochnosti i treshchinostojkosti // Vestnik SibADI. 2022, T. 19, № 5 (87). Pp. 752–761. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-752-761 (rus)
14. Kolchunov V.I., Kuznecova K.Yu., Fedorov S.S. Model' kriteriya treshchinostojkosti i prochnosti ploskonapryazhennykh konstrukcij iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2021. № 3 (95). S. 15–26. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26 (rus)
15. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Zhavoronkov M.I. Razvitie metoda ispytaniya treshchinostojkosti stalefibrobetona // Ekonomika stroitel'stva. 2023. № 9. Pp. 132–137. (rus)
16. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Zhavoronkov M.I. Diagrammy deformirovaniya cementnykh kompozitov, armirovannykh stal'noj provolochnoj fibroj // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2018. № 2. Pp. 143–147. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-143-147 (rus)
17. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Zhavoronkov M.I. Sovershenstvovanie metodov opredeleniya silovykh i energeticheskikh harakteristik treshchinostojkosti fibrobetona // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 3. Pp. 301–310. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.301-310 (rus)

Информация об авторах:

Пухаренко Юрий Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия,

доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».

E-mail: tsik54@yandex.ru.

Пантелеев Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».

E-mail: dm-pant@yandex.ru.

Жаворонков Михаил Ильич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».

E-mail: sith07@list.ru.

Information about authors:

Pukhareno Yuriy V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Consulting Professor of the Department of Technology of Building Materials and Metrology.

E-mail: tsik54@yandex.ru.

Panteleev Dmitrii A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
E-mail: dm-pant@yandex.ru.

Zhavoronkov Mikhail I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
E-mail: sith07@list.ru.

Статья поступила в редакцию 22.03.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 22.03.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

В.Д. ЧЕРКАСОВ¹, А.В. БОРОДИН¹¹Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева, Саранск, Россия

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕРМЕТИКА

Аннотация. Герметики нашли широкое применение в строительстве. Их применяют для герметизации разъемных и неразъемных соединений, конструкций, различных стыков и швов. Основной объем неотверждаемых герметиков представляют герметики на основе бутилкаучука. Эти герметики, обладая рядом преимуществ, имеют существенный недостаток – низкую атмосферостойкость.

Наибольший интерес в строительстве представляют атмосферостойкие герметики. Такие герметики возможно получать на основе этиленпропиленового каучука. Он обладает высокой атмосферостойкостью, стоек к озоновому окислению, но имеет низкую адгезию к различным субстратам.

Целью исследований является повышение адгезионной прочности неотверждаемого герметика на основе этиленпропиленового каучука. Для улучшения адгезионной прочности применяют технологические добавки. В качестве технологических добавок использовали битумы. В статье рассматривается влияние технологических добавок на адгезионную прочность. Показано, что применение технологических добавок повысило адгезионную прочность в 1,5 – 2 раза.

Ключевые слова: этиленпропиленовый каучук, технологические добавки, герметик, адгезионная прочность.

V.D. CHERKASOV¹, A.V. BORODIN¹¹Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, Russia

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL ADDITIVES ON THE ADHESIVE PROPERTIES OF SEALANT

Abstract. Sealants are widely used in construction. They are used to seal detachable and permanent connections, structures, various joints and seams. The main volume of non-hardening sealants are sealants based on butyl rubber. These sealants, having a number of advantages, have a significant drawback - low weather resistance.

Weather-resistant sealants are of the greatest interest in construction. Such sealants can be obtained on the basis of ethylene-propylene rubber. It has high weather resistance, is resistant to ozone oxidation, but has low adhesion to various substrates.

The purpose of the research is to increase the adhesive strength of a non-hardening sealant based on ethylene-propylene rubber. To improve the adhesive strength, process additives are used. Bitumen was used as process additives. The article considers the effect of process additives on adhesive strength. It is shown that the use of process additives increased the adhesive strength by 1.5 - 2 times.

Keywords: ethylene propylene rubber, technological additives, sealant, adhesive strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайруллин, И.К. Герметизирующие материалы в современном строительстве / И.К. Хайруллин, М.П. Поманская, И.В. Кутыркин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2006. – №8. – С. 32-35.
2. Кутыркин, И.В. Применение герметизирующих материалов, производимых ЗАО «НПП «ГЕПОЛ» / И.В. Кутыркин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2006. – №4. – С. 28-31.
3. Галимзянова, Р.Ю. Невысыхающие герметики для герметизации стеклопакетов / Р.Ю. Галимзянова, М.Ф. Гумеров, Е.А. Кузнецова, Т.В. Макаров, Ю.Н. Хакимуллин, С.И. Вольфсон // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии». – Белгород. – 2007. – С. 62.
4. Муртазина, Л.И. Неотверждаемые герметики на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Материалы международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков. Материалы, сырье, технологии». – Нижний Новгород. – 2013. – С. 217.
5. Муртазина, Л.И. Неотверждаемые герметики высокого наполнения на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №24. – С. 71- 73.
6. Минibaева, Л.А. Влияние природы и содержания карбоната кальция на деформационно-прочностные свойства неотверждаемых герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука/ Л.А. Муртазина, Л.И. Муртазина, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №9. – С. 105-108.
7. Муртазина, Л.И. Влияние пластификаторов на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ф. Фатхуллин, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Клеи. Герметики. Технологии. – 2014. – №10. – С. 13-16.
8. Муртазина, Л.И. Регулирование свойств неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука пластификаторами/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ф. Фатхуллин, Р.А. Ахмедьянова, Д.Г. Милославский, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №9. – С. 119- 122.
9. Муртазина, Л.И. Влияние пластификаторов на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ф. Фатхуллин, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Энциклопедия инженера-химика. – 2014. – №8. – С. 31-36.
10. Муртазина, Л.И. Влияние природы пластификаторов на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Материалы научных трудов четвертых Воскресенских научных чтений «Полимеры в строительстве». – Казань. – 2014. – С. 57.
11. Муртазина, Л.И. Влияние пластификаторов на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ф. Фатхуллин, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин// Полимеры в строительстве. – 2014. – №2. – С. 78-90.
12. Галимзянова, Р.Ю. Влияние технологических добавок на реологические свойства композиций на основе бутилкаучука / Р.Ю. Галимзянова, Т.В. Макаров, Ю.Н. Хакимуллин, С.И. Вольфсон // Каучук и резина. – 2008. – №2 – С. 20-22.
13. Муртазина, Л.И. Технологические добавки для неотверждаемых термопластичных герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, И.А. Никульцев //Материалы XXII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». – Москва. – 2015. – С. 50.
14. Муртазина, Л.И. Влияние технологических добавок на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука/ Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ф. Фатхуллин, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин // Известия КГАСУ. – 2015. – №1. – С. 134- 142.
15. Брык Я.А., Смирнов Д.Н. Исследование морозостойкости авиационных герметиков // Труды ВИАМ. 2018. № 1 (61). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.07.2022). DOI: 10.18577/23007-6046-2018-0-1-9-9.
16. Грядунова Ю.Е., Никулин С.С., Белых А.Г., Посанчуков Д.П. Повышение показателей герметизирующих составов электрическими полями // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 4. С. 35-39.
17. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 41-48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
18. Кузнецова В.А. Влияние эластомерного модификатора на механические и вязкоупругие свойства эпоксидно-каучуковых композиций для эрозионностойких покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 56-62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62.
19. Перфильева С.А., Шашок Ж.С., Усс Е.П. и др. Конфекционная клейкость наполненных резиновых смесей с нефтеполимерными смолами // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 3. С. 21-26. DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-3-21-26.
20. Силаева А.А., Кузнецова В.А., Железняк В.Г., Куршев Е.В. Исследование адгезии функциональных лакокрасочных покрытий для защиты поверхности ПКМ // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.07.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-59-66.

REFERENCES

1. Khairullin, I.K., Pomanskaya, M.P., Kutyrkin, I.V. Sealing materials in modern construction. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2006. No. 8. Pp. 32-35. (in Russian)
2. Kutyrkin, I.V. Application of sealing materials produced by ZAO NPP GEPOL. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2006. No. 4. Pp. 28-31. (in Russian)
3. Galimzyanova, R.Yu., Gumerov, M.F., Kuznetsova, E.A., Makarov, T.V., Khakimullin, Yu.N., Wolfson, S.I. Non-drying sealants for sealing double-glazed windows. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Scientific Research, Nanosystems and Resource-Saving Technologies in Construction Industry"*. Belgorod, 2007. P. 62. (in Russian)
4. Murtazina, L.I., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. Non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Proceedings of the International Scientific-Technical Conference "Modern Achievements in Adhesives and Sealants. Materials, Raw Materials, Technologies"*. Nizhny Novgorod, 2013. P. 217. (in Russian)
5. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. Non-curing high-fill sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. No. 24. Pp. 71-73. (in Russian)
6. Minibaeva, L.A., Murtazina, L.I., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of the nature and content of calcium carbonate on the deformation-strength properties of non-curing sealants based on nitrile butadiene rubber. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. No. 9. Pp. 105-108. (in Russian)
7. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Fatkhullin, R.F., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of plasticizers on the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2014. No. 10. Pp. 13-16. (in Russian)
8. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Fatkhullin, R.F., Akhmedyanova, R.A., Miloslavsky, D.G., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. Regulating the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber with plasticizers. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014. No. 9. Pp. 119-122. (in Russian)
9. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Fatkhullin, R.F., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of plasticizers on the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Encyclopedia of Chemical Engineering*. 2014. No. 8. Pp. 31-36. (in Russian)
10. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of the nature of plasticizers on the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Proceedings of the Fourth Resurrection Scientific Readings "Polymers in Construction"*. Kazan, 2014. P. 57. (in Russian)
11. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Fatkhullin, R.F., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of plasticizers on the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Polymers in Construction*. 2014. No. 2. Pp. 78-90. (in Russian)
12. Galimzyanova, R.Yu., Makarov, T.V., Khakimullin, Yu.N., Wolfson, S.I. The influence of technological additives on the rheological properties of compositions based on butyl rubber. *Rubber and Rubber*. 2008. No. 2. Pp. 20-22. (in Russian)
13. Murtazina, L.I., Nikultsev, I.A. Technological additives for non-curing hot-melt sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Proceedings of the XXII International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Lomonosov"*. Moscow, 2015. P. 50. (in Russian)
14. Murtazina, L.I., Garifullin, A.R., Nikultsev, I.A., Fatkhullin, R.F., Galimzyanova, R.Yu., Khakimullin, Yu.N. The influence of technological additives on the properties of non-curing sealants based on ethylene propylene diene rubber. *News of KGASU*. 2015. No. 1. Pp. 134-142. (in Russian)
15. Bryk, Ya.A., Smirnov, D.N. Study of frost resistance of aviation sealants. *Proceedings of VIAM*. 2018. No. 1 (61). Art. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: 07.08.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-1-9-9. (in Russian)
16. Gryadunova, Yu.E., Nikulin, S.S., Belykh, A.G., Posanchukov, D.P. Improving the performance of sealing compounds by electric fields. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2018. No. 4. Pp. 35-39. (in Russian)
17. Kovrizhkina, N.A., Kuznetsova, V.A., Silaeva, A.A., Marchenko, S.A. Methods for improving the properties of paint and varnish coatings by introducing various fillers (review). *Aviation Materials and Technologies*. 2019. No. 4 (57). Pp. 41-48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48. (in Russian)
18. Kuznetsova, V.A. Influence of an elastomer modifier on the mechanical and viscoelastic properties of epoxy-rubber composites for erosion-resistant coatings. *Aviation Materials and Technologies*. 2020. No. 2 (59). Pp. 56-62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62. (in Russian)

19. Perfil'eva, S.A., Shashok, Zh.S., Uss, E.P. et al. Confection adhesion of filled rubber mixtures with petroleum polymer resins. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2020. No. 3. Pp. 21-26. DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-3-21-26. (in Russian)
20. Silaeva, A.A., Kuznetsova, V.A., Zheleznyak, V.G., Kurshev, E.V. Study of adhesion of functional paint and varnish coatings for surface protection of polymer composite materials. *Proceedings of VIAM*. 2021. No. 9 (103). Art. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: 08.07.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-59-66. (in Russian)

Информация об авторах

Черкасов Василий Дмитриевич

Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия.
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная механика».
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Бородин Александр Владимирович

Начальник отдела капитального строительства ГКУ «Управление автомобильных дорог Республики Мордовия».
E-mail: sas-borodin@yandex.ru

Information about authors

Cherkasov Vasily D.

Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, Russia.
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Applied Mechanics».
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Borodin Alexander VI.

Head of the Capital Construction Department of the State Institution "Road Administration of the Republic of Mordovia".
E-mail: sas-borodin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.04.2025
Одобрена после рецензирования 09.06.2025
Принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted 27.04.2025
Approved after reviewing 09.06.2025
Accepted for publication 11.06.2025

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется числом знаков с учетом пробелов. Рекомендуемый объем статей: **от 15000 до 45000 знаков с пробелами**.
- Статья должна быть набрана на листах формата А4 шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в электронном виде по электронной почте или через систему электронной редакции.
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** кратко описывает объект исследования, мотивацию к проведению исследования, результаты исследования (рекомендуется указывать конкретные результаты и зависимости, полученные в исследовании), выводы (кратко); рекомендуемый объем – от 200 до 250 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи; рекомендуемый объем списка литературы – не менее 20 источников.

В информации об авторах рекомендуется указывать ORCID, Scopus ID и SPIN-код, присвоенный в РИНЦ.

Редакция не взимает плату с авторов за подготовку, рецензирование и размещение в открытом доступе статей.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте <https://construction.elpub.ru/jour/index>

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 75-13-18

www.oreluniver.ru
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орёл, ул. Московская, 77.
+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор М.А. Амелина
Компьютерная верстка М.А. Амелина

Подписано в печать 18.06.2025 г.
Дата выхода в свет 28.06.2025 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 14,6
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 67

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95.