

ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2020, №4 (7) Научно-практический журнал

***Expert:
theory and practice***

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель
Автономная некоммерческая организация
“Институт судебной строительно-технической экспертизы”
(АНО “ИССТЭ”)

Издаётся с 2019 г. Выходит 6 раз в год

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

Редакционный совет:

Петров Владилен Васильевич –
председатель редакционного совета,
Заслуженный деятель науки РФ, доктор
технических наук, профессор, академик
РААСН, Саратовский государственный
технический университет им. Ю.А. Гагарина

Бильчак Василий Степанович - доктор
экономических наук, профессор,
кафедра микроэкономики, Варминьско-
Мазурский Университет, Польша,
Ольштына

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

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

Исакулов Байзак Разакович - доктор
технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Дизайн и строительства»,
«Баишев Университет», Казахстан, Актобе
Ляченков Николай Васильевич - лауреат
Государственной премии Совета
министров СССР, Почетный гражданин

г.о. Тольятти, действительный член
Российской Академии естественных наук,
член-корреспондент Международной
инженерной академии, доктор технических
наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ,
Тольятти

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

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

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

Чернышов Евгений Михайлович - доктор
технических наук, профессор, академик
РААСН, Воронежский государственный
технический университет

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

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

Founder
Independent Noncommercial Organization
“Institution of Forensic Construction and Technological Expertise”
INO “IFCTE”

Published since 2019. Published 6 times a year.

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

Editorial Board:

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

Vasily S. Bilchak – Dr. of Economics, Prof., Department of Microeconomics, University of Warmia and Mazury (Olsztyn, Poland)

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

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

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

Nikolai V. Lascencov - laureate Of the state prize of the Council of Ministers of the USSR, Honorary citizen of Togliatti, full member of

the Russian Academy of natural Sciences, corresponding member of the International engineering Academy, doctor of technical Sciences, Professor, expert, INO “IFCTE” (Tolyatti, Russia)

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

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

Evgeniy M. Chernyshov - Dr. of Technical, Prof., Academician of RAABS, Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)

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

Andrey N. Sorochaikin - Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; INO “IFCTE” (Tolyatti, Russia)

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

Редакционная коллегия:

Мурашкин Василий Геннадьевич – главный редактор, кандидат технических наук, АНО “ИССТЭ”, Тольятти

Анпилов Сергей Михайлович - заместитель главного редактора, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт АНО “ИССТЭ”, Тольятти

Сорочайкин Андрей Никонович - заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, директор АНО “ИССТЭ”, Тольятти

Гарибов Рафаил Баширович - доктор технических наук, профессор, советник РААСН, Балаковский ИТИ - филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

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

Жаданов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет

Иваненко Лариса Викторовна – кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор, кафедра управления человеческими ресурсами, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва

Измайлов Айрат Маратович - кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладного менеджмента, Самарский государственный экономический университет

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

Куприянов Валерий Николаевич - доктор технических наук, профессор, член-

корреспондент РААСН, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Курлов Алексей Борисович - доктор социологических наук, профессор, кафедра социологии и социальных технологий, Уфимский государственный авиационный технический университет

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

Панаедова Галина Ивановна - доктор экономических наук, профессор, кафедра налоговой политики и таможенного дела, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

Соколов Борис Сергеевич - доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РТ, лауреат госпремии РТ, научный консультант АО “Казанский Гипронефтеавиапром”

Стрельцова Елена Дмитриевна - доктор экономических наук, профессор кафедры, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

Тюкавкин Николай Михайлович - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики инноваций, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва

Хозин Вадим Григорьевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой “Технология строительных материалов, изделий и конструкций”, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Шестаков Александр Алексеевич - доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой “Философия”, Самарский государственный технический университет

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

Editorial Staff:

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

Sergey M. Anpilov - Deputy Editor-in-Chief, Expert of INO "IFCTE", Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Advisor to RAABS (Tolyatti, Russia)

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

Rafail B. Garibov – Dr. of Technical, Prof., Advisor to RAASN, Balakovsky ITI - a branch of the National Research Nuclear University MEPhI (Balakovo, Russia)

Valery A. Eryshev - Dr. of Technical, Advisor to RAABS, Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

Victor I. Zhadanov - Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Orenburg state University (Orenburg, Russia)

Larisa V. Ivanenko - Candidate of Technical, Dr. of Economics, Prof., Department of Human Resources Management, Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (Samara, Russia)

Ayrat M. Izmailov - Candidate of Economic, Associate Prof. of Applied Management Department, Samara State University of Economics (Samara, Russia)

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

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

Alexey B. Kurlov - Dr. of sociology, Prof., Department of Sociology and Social Technologies, Ufa State Aviation Technical University, (Ufa, Russia)

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

Galina I. Panaedova – Dr. of Economics, Prof., Department of Tax Policy and Customs, North Caucasus Federal University (Stavropol, Russia)

Boris S. Sokolov - Dr. of Technical, Prof., Corresponding Member of RAABS, Kazan, Russia

Elena D. Streltsova – Dr. of Economics, Professor of the Department, M.I. South Russian State Polytechnic University named after Platova (Novocherkassk, Russia)

Nikolay M. Tyukavkin - Dr. of Economics, Prof., Head of the Department of Innovation Economics, Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (Samara, Russia)

Vadim G. Khozin - Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures", Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

Alexander A. Shestakov - Dr. of Philosophy, Prof., Head of the Department of Philosophy, Samara State Technical University (Samara, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ ЗАМЕТКА

Мурашкин В.Г.

О рубрике «Экспертная практика» 9

ЭКСПЕРТНАЯ ПРАКТИКА

Анпилов С.М., Сорочайкин А.Н.

Фундаментальные и прикладные исследования проблемы качества выполненных работ
(арбитражная практика) 10

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Балыков А.С., Низина Т.А., Володин В.В., Коровкин Д.И.

Прочность цементного камня с минеральными добавками на основе обожжённой глины
и карбонатных пород 26

Лазарев Л.А., Коешов Н.М.

Выравнивание напряжений в элементах с отверстиями за счет применения материалов
с направленной структурой 31

Ласьков Н.Н.

Прочность сжатых и растянутых наклонных полос в стенах из кирпичной кладки
при изменении угла наклона постельных швов 36

Непомнящий А.Н., Выровой В.Н., Суханов В.Г.

Влияние условий замораживания на морозостойкость строительных композитов 41

Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г.

Трещинообразование в крупнопористом бетоне с интегральным расположением
крупного заполнителя 47

Селяев В.П., Селяев П.В., Горенков А.О., Безрукова Е.С., Кечуткина Е.Л.

Фрактальная природа масштабного эффекта прочности бетона 53

Соколова Ю.А., Кондращенко В.И., Кесарийский А.Г.,

Мурадян К.О., Казаков А.А.

Расчетно-экспериментальные исследования внутренних напряжений
в строительных материалах 60

Талантова К.В., Михеев Н.М.

Обеспечение эксплуатационных характеристик сейфовых помещений 66

Трещев А.А., Кузнецова В.О.

Влияние изменения концентрации водорода во времени на НДС сферической оболочки
из титанового сплава 72

Уткина В.Н., Безрукова Е.С.

Моделирование процесса возведения высотного каркасно-монолитного здания 82

CONTENT

EDITORIAL NOTE

Murashkin V.G.

About the heading «Expert practice»	9
---	---

EXPERT PRACTICE

Anpilov S.M., Sorochaikin A.N.

Basic and applied research on the quality problem of completed works (arbitral practice)	10
--	----

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Korovkin D.I.

Strength of cement stone with mineral additives based on calcined clay and carbonate rocks	26
--	----

Lazarev L.A., Koeshov N.M.

Stress equalization in elements with holes, due to the use of materials with a directional structure	31
--	----

Laskov N.N.

Strength of compressed and stretched sloping strips in brickwork walls when changing the angle of inclination of bed seams	36
--	----

Nepomyashchy A.N., Vyrovoy V.N., Sukhanov V.G.

Freezing conditions impact on the freezing resistance of construction composites	41
--	----

Selyaev V.P., Selyaev P.V., Gorenkov A.O., Bezrukova E.S., Kechutkina E.L.

Fractal nature of the concrete strength large-scale effect	47
--	----

Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G.

Crack formation in large-porous concrete with an integral arrangement of a large filler	53
---	----

Sokolova Yu.A., Kondrashchenko V.I.,

Kesariiskiy O.G., Muradian K.O., Kazakov A.A.

Calculated and experimental studies of internal stresses in construction materials	60
--	----

Talantova K.V., Mikheev N.M.

Maintenance of safe rooms performance characteristics	66
---	----

Treschev A.A., Kuznetsova V.O.

Influence of changing the concentration of hydrogen during time on the structure of a spherical shell made of titanium alloy	72
--	----

Utkina V.N., Bezrukova E.S.

Modeling of the construction process of a high-rise frame-monolithic building	82
---	----

РЕДАКТОРСКАЯ ЗАМЕТКА

О РУБРИКЕ «ЭКСПЕРТНАЯ ПРАКТИКА»

Уважаемые читатели, коллеги, друзья.

Вы держите очередной номер журнала «Эксперт: теория и практика». Начиная с этого номера вводится новая рубрика «Экспертная практика», в которой будут размещаться статьи, посвященные обзору практики научно-технического исследования объектов капитального строительства, проведения судебных строительно-технических экспертиз, для апробации, систематизации, обобщения научного опыта и результатов экспериментальных исследований, для создания предпосылок заимствования опыта другими с целью переноса багажа знаний и адаптации результатов исследований в образовательный процесс, так и для практической деятельности экспертов.

Рубрика «Экспертная практика» в научно-практическом журнале позволит обобщить результаты исследований, научный опыт всех желающих авторов: российских и зарубежных ученых, представителей всех уровней образования, практикующих экспертов в деятельности работников образования России для подготовки и переподготовки высококвалифицированных, компетентных, конкурентоспособных специалистов (аспирантов, магистрантов, студентов и экспертов). Публикации в журнале будут полезны практикам и широкому кругу читателей.

Рубрику «Экспертная практика» начнём со статьи экспертов С.М. Анпилова, А.Н. Сорочайкина, посвященной решению актуальной задачи в обеспечении экспертами доказательного значения выводов в судебной строительно-технической экспертизе на основе арбитражной практики. В данной работе на основе конкретной экспертной практики фундаментальных и прикладных исследований продемонстрированы и сформулированы выводы исследователей, показаны результаты экспертных исследований, которые явились основанием для принятия судебных актов в трёх инстанциях.

Главный редактор В.Г. Мурашкин

ABOUT THE HEADING “EXPERT PRACTICE”

The section “Expert Practice” in the scientific-practical journal will allow to summarize research results and scientific experience of all that wished to become authors: Russian and foreign scientists, representatives of all education levels, practicing experts in training Russian educational workers and retraining highly qualified ones, competent and competitive specialists (postgraduate students, Masters, Bachelors and experts). Publication in the journal will be useful for practicing experts as well as for a wide range of readers.

Chief editor V.G. Murashkin

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ (АРБИТРАЖНАЯ ПРАКТИКА)

© 2020 С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин*

В данной работе, на основе практически реализованных фундаментальных и прикладных исследований, продемонстрированы и сформулированы выводы авторов, показаны результаты экспертных исследований, которые явились основанием для принятия актов в трёх судебных инстанциях.

По мнению авторов, проблемы качества выполненных работ это комплексная проблема. Без глобальных преобразований в структурах управления страной и строительной отрасли решить проблему качества выполняемых работ не возможно.

Ключевые слова: арбитраж, проектирование, строительство, качество работ, проект, экспертиза, судебное решение.

Указом Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1] приняты национальные проекты, в том числе: «Безопасные и качественные дороги».

В г.о. Тольятти Самарской области, реализуется крупный инвестиционный инфраструктурный проект в части дорожного хозяйства: «Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область», (далее автодорога М-5 «Урал») [2].

Дорожная деятельность по реконструкции автодороги М-5 «Урал» совместно с другими инфраструктурными областями народного хозяйства страны позволит обеспечить снижение количества ДТП, в т.ч. смертности, что будет способствовать достижению предусмотренных Указом Президента РФ национальных целей, включая:

- ❖ естественный рост населения;
- ❖ повышение ожидаемой продолжительности жизни, занятость, рост доходов;
- ❖ вхождение Российской Федерации в число пяти крупнейших экономик мира, обеспечение темпов экономического роста выше мировых.

Приведение автомобильных дорог в нормативное состояние способствует повышению безопасности дорожного движения, профилактике риска возникновения дорожно-транспортных происшествий, снижению смертности при ДТП это позволит снизить количество ДТП и уменьшить их негативные последствия на здоровье человека, что в целом, приведет к росту качества жизни населения, экономическому и социальному развитию субъектов РФ, улучшению экономических связей между субъектами РФ и к повышению качества предоставляемых автомобильных услуг.

На реализацию национальных проектов и на безопасность России дополнительно тяжелой ношей накладывается несколько глобальных факторов, подробно изложенную авторами в работе [см. 4], среди них:

* Анпилов Сергей Михайлович (anpilovsm@gmail.com) Заслуженный изобретатель РФ, Почётный строитель, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт; Сорочайкин Андрей Никонович (expert763@mail.ru) - кандидат экономических наук, доктор философских наук, эксперт; оба - АНО «Институт судебной строительно-технической экспертизы, 445047 РФ, Самарская область, г. Тольятти, а/я 25.



❖ в нашей стране утеряны профессиональные кадры, реализована система отрицательного отбора управленцев, когда на руководящие должности приходят кандидаты отобранные не по профессиональным качествам, в силу чего в целом по стране низкий уровень организации и управления экономикой;

❖ в настоящее время в России слишком малая доля (10%) людей, занятая созидательным трудом (хлеборобы, животноводы, строители, металлурги, шахтеры, транспортники и др.), но слишком много - занятых контролем, охраной, защитой, руководством;

❖ низкий рейтинг рабочих профессий, старение высококвалифицированных научных, инженерных и рабочих кадров, снижение объемов подготовки рабочих кадров, из-за значительного сокращения государственного и муниципального финансирования подготовки кадров рабочих и инженерных специальностей во всех отраслях реальной экономики;

❖ неуважение к человеку труда, низкий уровень оплаты и стимулирования труда работников, занятых в отраслях реальной экономики;

❖ отсутствие квалифицированных инженерных кадров в руководстве всех уровней.

Стоит отметить, что нарушение технологической дисциплины из-за не соблюдения регламентов и необходимости использования некондиционного сырья и материалов, в целях оптимизации бюджета, приводит к промышленным техногенным авариям и катастрофам, таким как:

❖ авария на Чернобыльской АЭС 26.04.1986 г.;

❖ железнодорожная катастрофа под Уфой 04.06.1989;

❖ обрушение купола спортивно-развлекательного комплекса «Трансваль-парк» в Москве 14.02.2004 г.

❖ авария на Саяно-Шушенской ГЭС, 17.08.2009 г.;

❖ обрушение железнодорожного моста через реку Кола в Мурманской области 01.06.2020 г.;

❖ утечка дизельного топлива в Норильске 29.05.2020 г. и др.

По мнению авторов, достаточно примеров, чтобы сделать выводы и обратить пристальное внимание на текущее состояние дел.

А за примерами, которые могут привести к техногенным авариям на строительных объектах, далеко ходить не надо.

Определением Арбитражного суда Самарской области по делу №А55-38446/2018 от 20.06.2019 г. [2] была назначена судебная строительно-техническая экспертиза, проведение которой было поручено эксперту Анипову С.М. По результатам проведенных фундаментальных, прикладных исследований материалов дела с использованием 67 источников нормативно-справочной литературы, эксперт для арбитражного суда подготовил заключение, состоящее из исследований и приложений, с подтверждающими материалами, в объеме 22 тома.

Экспертом проведены исследования, систематизированы и изложены выявленные нарушения нормативно-правовых актов при выполнении Заказчиком инженерных изысканий, проектных и строительных работ на объекте.

В рамках настоящей статьи выборочно приведены только выявленные основополагающие нарушения нормативно-правовых актов и градостроительных регламентов и ответы на вопросы, поставленные судом на разрешение эксперта.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРВОМУ ВОПРОСУ

По результатам исследования градостроительных регламентов, материалов дела А55-38446/2018 [2], инструментальных исследований объектов исследования, Экспертом установлено:

1. Выполненные инженерные изыскания по линейному объекту Строительство съезда № 10 Автодороги М-5 Урал на основании Технического задания от 15.09.2010 г. не соответствуют требованиям законодательства, строительным нормам и правилам, градост-



роительным, техническим регламентам, в том числе:

1.1. В документации выполненных инженерных изысканиях для обоснования проектной подготовки строительства не отражены сведения о результатах комплексного изучения техногенных воздействий при осуществлении строительства и после завершения строительства, о результатах оценки влияния строительства съезда № 10 с автодороги М-5 Урал на существующие объекты капитального строительства, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21.

Не соблюдены требования норм, перечисленных в настоящем исследовании, в т.ч.:

1.2. В программе на выполнение инженерно-геодезических изысканий и техническом задании заказчика отсутствуют сведения о наличии генерального плана с местоположением существующих зданий и сооружений (эскипликацией), данные о местоположении и глубинах заложения подвалов подземных сооружений, о техногенном воздействии проектируемого объекта (съезда № 10 с автодороги М-5 Урал) на геологическую среду, необходимые для установления глубины исследований и состава работ, в документации выполненных инженерных изысканий отсутствуют сведения о существующих объектах капитального строительства, журналы обследования надземных и подземных сооружений, на инженерно-топографических планах отсутствуют сведения о существующих подземных и надземных сооружениях, не нанесены на геодезическую съемку крыльцо, ступени, главный вход в автосалон «Универсал», не указаны габариты приближения строящегося съезда №10 к существующим строениям, включая к автосалону, расположенных вдоль строящегося съезда № 10 Автодороги М-5 Урал, по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 (см.: ст. 16, ФЗ «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» [4]; пп. 4.1, 5.1, 5.69-5.70, 5.74-5.75, 5.81-5.83, 5.172-5.175, 5.189-5.192, 6.11-6.13, 7.9, 8.8-8.10 СНиП 11-104-97 [5]; пп. 5.1-5.2, 5.4, 6.23 СНиП 11-02-96 [6]).

1.3. В материалах инженерных изысканий отсутствуют результаты оценки влияния

строительство Съезда №10 Автодороги М-5 Урал на существующие объекты недвижимости по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 (см. ст. 47 ГрК РФ [7]).

1.4. В проектной документации выполненных инженерных изысканиях для обоснования проектной подготовки строительства не отражены сведения о результатах комплексного изучения техногенных воздействий при осуществлении строительства и после завершения строительства, о результатах оценки влияния строительства съезда № 10 с автодороги М-5 Урал на существующие объекты капитального строительства, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21.

1.5. Не соблюдены требования норм, перечисленных в настоящем исследовании, в т.ч. при проектировании съезда № 10 Автодороги М-5 Урал не исполнены требования ст. 16 ФЗ-257 «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» [4].

2. Проектная документация на строительство съезда №10 с автодороги М-5 Урал разработана на основании инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий, которые не соответствуют требованиям законодательства, национальным стандартам, строительным нормам и сводам правил, техническим регламентам в области градостроительной деятельности, в результате которых на обязательной основе не обеспечивается соблюдение требований ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8].

2.1. В нарушение п. 6.1, п. 11 ст. 48 ГрК РФ [7], проектная документация по строительству съезда № 10 с автодороги М-5 «Урал» разрабатывалась без правоустанавливающих документов на земельные участки с кадастровыми номерами 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875 и была представлена на повторную Государственную экспертизу без градостроительного плана, без проекта планировки территории, без проекта межевания территории.

2.2. Проектная документация на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал



разработана без правоустанавливающих документов на земельные участки с кадастровыми номерами: 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875.

Градостроительный план на земельные участки с кадастровыми номерами 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875 не утверждался.

Мэрией г.о. Тольятти решение о выделении под проектирование объектов на земельных участках с кадастровыми номерами 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875 не принималось.

2.3. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал не исполнены требования ГрК РФ [7] и ФЗ РФ [4], т.к. проектирование съезда выполнялось на земельных участках с кадастровыми номерами 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875 без разрешения на отклонение от предельных параметров разрешенного строительства.

2.4. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал не исполнены требования градостроительного кодекса ст. 39 и п.2 ст.43 ГрК РФ [7]: без проведения общественных слушаний, без согласования внесения изменений (см. п. 3.8, п. 5.4 РДС 30-201-98 [9]), без получения документов о разрешенном использовании земельных участков с кадастровыми номерами: 63:09:0201060:16208, 63:09:0000000:2875 под проектирование и строительство съезда №10 с Автодороги М-5 Урал;

2.5. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал не исполнены требования ст. 42, п. 6 и п. 11 ст. 48 ГрК РФ [7], проектная документация разрабатывалась без утвержденной документации по планировке территории и проекта межевания территории (Распоряжениями Ответчика № 2324-р от 02.12.2015 г., № 2025-р от 03.10.2016 г. принято решение о подготовке документации по планировке территории объекта, в т.ч. «Строительство съезда № 10 с автомобильной

дороги М-5 Урал», т.е. после даты выдачи Положительного заключения Государственной экспертизы по проектной документации Объекта от 18.11.2013 г.);

- 13.08.2013 г. - дата сдачи проекта на повторную Государственную экспертизу,

- 09.09.2013 г. - дата заключения договора на повторную Государственную экспертизу проектной документации;

- 25.10.2013 г. дата утверждения Градостроительного плана (в Распоряжении заместителя Мэра № 007181-р/5 от 25.10.2013 не указаны: кадастровый номер земельного участка, на который выдан градостроительный план земельного участка, площадь земельного участка);

❖ 18.11.2013 г. - дата выдачи положительного заключения государственной экспертизы по проектной документации по строительству съезда №10 с Автодороги М-5 Урал;

❖ 02.12.2015 г. - дата утверждения документации по планировке территории объекта «Строительство и реконструкция автодороги М-5 Урал», транспортной развязки на км 974 в Тольятти, Распоряжением Федерального дорожного агентства № 2324-р.

2.6. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал не исполнены требования п. 35а, п. 35к Постановления Правительства РФ № 87 [10], без описания и обозначения в Проектной документации полосы отвода «Строительства съезда с автомобильной дороги М-5 Урал» существующих объектов капитального строительства, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21.

2.7. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Автодороги М-5 Урал не исполнены требования норм п. 6.19 СНиП [11], в которых предусмотрено, что на расстоянии не ближе 5 м от линии застройки необходимо обеспечить пригодную для проезда пожарных машин полосу шириной 6 м.

Фактическое расстояние от бордюра автодороги до здания составляет 2,95 м.

2.8. При разработке проектной документации на строительство съезда № 10 с Авто-



дороги М-5 Урал не исполнены требования норм п.4.20 СНиП [11], т.к. в проектных решениях не обеспечена боковая видимость прилегающей полосы вдоль съезда № 10 с автодороги М-5 Урал на расстоянии 15 метров напротив существующих объектов капитального строительства, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21.

2.9. В нарушение требований п. 6.29 СНиП [11], пп. 6.1.1 - 6.1.12 СП [12] в проектной документации от пешеходного перехода через автомагистраль М5 Урал (ПК10+40) отсутствуют: тротуар, велосипедная дорожка, пути пешеходного прохода граждан, включая маломобильных групп населения, ко входу в помещение автосалона Истца вдоль ул. Магистральная.

2.10. В нарушение п. 4.1 ст. 47 ГрК РФ [7], проектной документации на строительство съезда № 10 с автомагистрали М5 Урал не обеспечен отвод ливневых и паводковых вод от существующих объектов недвижимости, по адресу: Тольятти, ул. Куйбышева 21 вдоль ул. Магистральная. Высотная отметка бордюра строящегося съезда № 10 выше отметки отмостки существующих объектов недвижимости и парковки автомобилей на 0,43 м.

Экспертом установлено, что Ответчиком не обеспечена защита фундаментов зданий Истца от дождевых вод и паводков. В результате происходит намокание грунта у основания существующих зданий, происходит частичная потеря грунтом несущих свойств, ливневые и паводковые воды проникают в подвальные помещения существующих объектов недвижимости, расположенных под автосалоном «Универсал» вдоль улицы Магистральная на отм. - 5.72 м.

Выявленные экспертом нарушения требований законодательства, могут привести к техногенной аварии на существующих объектах недвижимости НПК ЗАО «Универсал».

Основываясь на вышеизложенном экспертом выявлены несоответствия и нарушения установленных фундаментальных требований и норм права законодательства РФ,

национальным стандартам, строительным нормам и сводам правил, техническим регламентам в области градостроительной деятельности, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 26.12.2014 г. № 1521 (ред. от 07.12.2016 г.) [13] в результате которых не обеспечивается на обязательной основе соблюдение требований ФЗ «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений» [8].

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТА ПО ПЕРВОМУ ВОПРОСУ

ВОПРОС 1: *Соответствует ли требованиям законодательства, строительным нормам и правилам, техническим регламентам, инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания, проектная документация на строительство объекта: “Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область” в части примыкания съезда с автомобильной дороги вдоль улицы Магистральная к существующим объектам недвижимости НПК ЗАО «Универсал», расположенным по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21.*

ВЫВОД: 1.1. Инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания на строительство объекта: “Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область” в части примыкания съезда № 10 с автомобильной дороги вдоль улицы Магистральная к существующим объектам недвижимости НПК ЗАО «Универсал», расположенным по адресу: Самарская



область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21 не соответствуют требованиям законодательства, национальным стандартам, строительным нормам и сводам правил, техническим регламентам в области градостроительной деятельности, в результате которых не обеспечивается на обязательной основе соблюдение требований ФЗ «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений» [8].

ВЫВОД: 1.2. Проектная документация на строительство объекта: “Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область” в части примыкания съезда № 10 с автомобильной дороги вдоль улицы Магистральная к существующим объектам недвижимости НПК ЗАО «Универсал», расположенным по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21 разработана на основании инженерных изысканий, которые не соответствуют требованиям законодательства.

ВЫВОД: 1.3. Проектная документация на строительство объекта: “Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область” в части примыкания съезда № 10 с автомобильной дороги вдоль улицы Магистральная к существующим объектам недвижимости НПК ЗАО «Универсал», расположенным по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21 не соответствует требованиям законодательства, национальным стандартам, строительным нормам и сводам правил, техническим регламентам в области градостроительной деятельности, в результате которых не обеспечивается на обязательной основе соблюдение требова-

ний ФЗ «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений» [8].

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВТОРОМУ ВОПРОСУ

В исследованиях при подготовке выводов по первому вопросу экспертом выявлены несоответствия и нарушения установленных фундаментальных требований и норм права законодательства РФ, национальным стандартам, строительным нормам и сводам правил, техническим регламентам в области градостроительной деятельности, в результате которых не обеспечивается на обязательной основе соблюдение требований ФЗ «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений» [8].

По результатам исследования градостроительных регламентов, материалов дела А55-38446/2018 [2], инструментальных исследований объектов исследования, Экспертом установлены следующие нарушения норм и правил при проведении инженерных изысканий, подготовке проектной документации и строительству объекта: “Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 “Урал” - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область” в части примыкания съезда с автомобильной дороги вдоль улицы Магистральная к существующим объектам недвижимости НПК ЗАО «Универсал», расположенным по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21:

1. Не исполнены п. 1, п. 2 ст. 16 ФЗ “Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности в РФ” [4], в части, соблюдения требований Градостроительного кодекса при проектировании, строительстве, реконструкции автомобильных дорог и требований, к содержанию разделов проектной документации автомобильных дорог...

2. Не исполнены требования Градостроительного кодекса РФ [7], в том числе:



2.1. п. 3 ст. 39 - не проводились публичные слушания по отводу земельного участка под проектирование съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, с участием правообладателей земельных участков и объектов капитального строительства, подверженных риску такого негативного воздействия;

2.2. п. 2 ст. 40 - отсутствовали технические регламенты по отклонениям от предельных параметров разрешенного строительства для земельного участка под строительство съезда № 10;

2.3. п. 2 ст. 43 - при подготовке проекта межевания территории не учли существующий автосалон «Универсал» (проект межевания выполнен после выполнения проектных работ);

2.4. п. 6 ст. 46.1 - в решении о развитии застроенной территории отсутствует в перечне существующие объекты недвижимости по адресу: Тольятти, ул. Куйбышева 21, которые подлежащих сносу;

2.5. пп. 1, 4.1, 5, ст. 47. - подготовка проектной документации осуществлялась без инженерно-геодезических изысканий, без учета влияния съезда № 10 с автодороги М-5 Урал на существующие объекты недвижимости, включая автосалон «Универсал»;

2.6. п. 1, п. 6 ст. 48 - подготовка проектной документации по строительству съезда № 10 с автодороги М-5 осуществлялась без градостроительного плана земельного участка, без проекта планировки территории и без проект межевания территории;

2.7. п. 11 ст. 48 - подготовка проектной документации по строительству съезда № 10 с автодороги М-5 осуществлялась без градостроительного плана земельного участка, без проекта планировки территории и без проект межевания территории, без разрешения на отклонение от предельных параметров разрешенного строительства.

3. Не исполнены требования ФЗ от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ (ред. 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8], в части:

3.1. п.6 ст.3 - не соблюдены требования доступности зданий и сооружений для ин-

валидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения, безопасного уровня воздействия строящегося съезда № 10 окружающую среду, безопасного для здоровья человека условий пребывания в существующих объектах недвижимости, в т.ч. - автосалон «Универсал»;

3.2. п.1, п. 5 ст. 15 - инженерные изыскания недостоверны, отсутствуют данные по существующим объектам недвижимости - автосалон «Универсал», мероприятия по обеспечению безопасности строящегося съезда № 10, не обеспечено как в процессе строительства, так и при эксплуатации съезда № 10 безопасность для жизни и здоровья граждан (включая инвалидов и другие группы населения с ограниченными возможностями передвижения), имущества физических или юридических лиц, окружающей среды.

4. Не исполнены требования Постановления Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [10], в том числе:

4.1. п. 34 - в пояснительной записке отсутствуют сведения об изымаемых участках, сведений о предполагаемых затратах, связанных со сносом зданий и сооружений - автосалона «Универсал», проектная документация выполнена без градостроительного плана земельного участка, без документа об использовании земельного участка для строительства съезда № 10, без технических регламентов, устанавливающих требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий НПК ЗАО «Универсал»;

4.2. п. 35, п. 38 - Проектная документация выполнена без:

- ❖ проекта полосы отвода;
- ❖ описания существующих зданий,носимых зданий и сооружений.

5. Не исполнены требования СНиП 11-02-96 [6], в т. числе:

5.1. пп. 5.1-5.2 - в проектных материалах отсутствует информация о существующих объектах недвижимости - автосалоне «Универ-



сал», о надземных, подземных сооружениях, необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строительства и обоснования проектирования, строительства и эксплуатации объектов;

5.2. п. 5.4 - в проектных материалах не изображена информация о существующих объектах недвижимости - автосалоне «Универсал»;

5.3. п. 6.23 - в техническом задании на инженерные изыскания отсутствует информация о существующих объектах недвижимости, глубинах заложения подвалов; к техническому заданию не приложен генеральный план объекта с местоположением проектируемых и существующих зданий и сооружений (экспликацией).

6. Не исполнены требования СП 11-104-97 [5], в т.числе:

6.1. п. 4.1 - в инженерно-геодезические изыскания для строительства отсутствуют материалы и данные о существующих зданиях и сооружениях (надземных, подземных и надземных) и других элементах планировки (в цифровой, графической, фотографической и иных формах), необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории (акватории) строительства и обоснования проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации объектов, а также создания и ведения государственных кадастров, обеспечения управления территорией, проведения операций с недвижимостью;

6.2. п.5.1. - в инженерно-геодезических изысканиях для строительства не выполнены:

- ❖ сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет;

- ❖ рекогносцировочное обследование территории (акватории) изысканий;

- ❖ топографическая (наземная, аэрофототопографическая, стереофотограмметрическая и др.) съемка в масштабах 1:10000 - 1:200, включая съемку подземных и надземных сооружений;

- ❖ координирование основных элементов сооружений и наружные обмеры зданий (сооружений);

6.3. п. 5.70. - не отображены ситуация, подземные и надземные сооружения;

6.4. п. 5.74 - в проектной документации, в техническом отчете не представлены:

- ❖ журналы обследования надземных сооружений и колодцев шурфов подземных сооружений;

- ❖ абрисы съемки подземных сооружений и др. материалы;

6.5. п. 5.172 - на инженерно-топографических планах не нанесены все существующие подземные и надземные сооружения (коммуникации); не выполнена съемка и обследование подземных и надземных сооружений методами, применяемыми при горизонтальной и высотной съемке застроенных территорий;

6.6. п. 5.173. - отсутствует съемка подземных и надземных сооружений;

6.7. п. 5.174. - отсутствует съемка подземных и надземных сооружений;

6.8. п. 5.175. - отсутствует съемка подземных и надземных сооружений и информация о сборе данных об подземных сооружениях;

6.9. пп. 5.189-5.192 - отсутствуют сведения об обновлении на инженерно-топографических и кадастровых планах, отсутствует информация о существующих зданиях и сооружениях (подземных, наземных и надземных) с их техническими характеристиками, их исполнительных чертежей;

6.10. пп. 6.11-6.13 не выполнены изыскания съемки существующих подземных сооружений;

6.11. п. 7.9 - не определены габариты приближения к существующим строениям;

6.12. пп. 8.9-8.10 - в представленных материалах отсутствует информация об выполнении изысканий, съемки в полосе 100 м или до существующих объектов недвижимости с учетом обеспечения требований проектирования по их переустройству и переносу; отсутствует отчет о результате инженерно-геодезических изысканий, выполненных для рабочей документации;

6.13. приложение Д (обязательное) - не исполнены требования к содержанию инже-



нерно-топографических планов для проектирования и строительства предприятий, зданий и сооружений, не отображены:

- ❖ строения, здания и сооружения (включая строящиеся) и их части (выступы и уступы более 0,5 мм на плане) с характеристикой назначения, огнестойкости, этажности и с указанием материала стен и конструкций, в том числе:

- ❖ тротуары, отмостки существующих зданий вдоль строящегося съезда № 10 с автодороги М-5 Урал;

- ❖ отметки высот: пола первого этажа (внутри контура строения), отмостки, земли или тротуара на углу, границах здания автосалона «Универсал».

7. Не исполнены требования СНиП 2.07.01-89* (СП 42.13330-2016) [11], в т.ч.:

7.1. п.6.19 - не обеспечено минимальное расстояние 5 м от линии застройки существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 вдоль улицы Магистральная до края основной проезжей части (бордюра) съезда № 10 с автодороги М-5 Урал (по факту 2,95 м).

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТА ПО ВТОРОМУ ВОПРОСУ:

ВОПРОС 2: *В случае, если при ответе на вопрос № 1 будет выявлено несоответствие строительным нормам и правилам, перечислить все установленные нарушения со ссылками на положения нарушенных нормативных актов.*

Вывод 2. При выполнении инженерных изысканий, проектных работ по строительству съезда № 10 с автодороги М-5 Урал установлены нарушения нормативных актов:

- ❖ п.1, п.2 ст. 16 ФЗ «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности в РФ» [4];

- ❖ п. 3 ст. 39; п. 2 ст. 40; п. 2 ст. 43; п. 6 ст. 46.1; пп. 1, 4.1, 5 ст. 47; п. 1, п. 6 ст. 48; п. 11 ст. 48 ГрК РФ [7];

- ❖ п. 6 ст.3; п. 1, п. 5 ст.15. ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8];

- ❖ п. 34, п. 35. п. 38 Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 “О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [10];

- ❖ пп. 5.1-5.2, 5.4, 6.23. СНиП 11-02-96 [6];

- ❖ п. 4.1, п. 5.1, п. 5.70, п. 5.74, пп. 5.172-5.175, пп. 5.189-5.192, пп. 6.11-6.13, п. 7.9, пп. 8.9-8.10, приложение Д (обязательное) СНиП 11-104-97 [5];

- ❖ п. 6.19 СНиП 2.07.01-89* (СП 42.13330-2016) [11].

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТА ПО ТРЕТЬЕМУ ВОПРОСУ

ВОПРОС: 3. *Являются ли нарушения, перечисленные при ответе на вопросы № 2, устранимыми.*

В случае если выявленные нарушения являются устранимыми, указать возможные способы устранения таких нарушений.

Вывод 3.1. Нарушения градостроительных регламентов, перечисленных при ответе на вопросы № 2 являются устранимыми.

Вывод 3.2. Возможные способы устранения выявленных нарушений, перечисленных при подготовке ответов на вопрос № 2:

3.2.1. выполнить комплекс инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, обследование существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 вдоль ул. Магистральная и строящегося съезда № 10 с автомагистрали М-5 Урал, в соответствии с градостроительными регламентами;

3.2.2. выполнить технико-экономическое обоснование вариантов устранения нарушенных градостроительных регламентов и согласовать выбранный вариант с собственниками объектов недвижимости вдоль съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, имеющих адрес: ул. Куйбышева 21, г. Тольятти;

3.2.3. внести изменения в проектную и рабочую документацию, выполнить корректировку проектной документации по реконструкции и строительству автодороги М-5 Урал, съезда № 10 с автодороги М-5 Урал в



соответствии с проведенными инженерно-геодезическими и инженерно-геологическими изысканиями, обследованием существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 и строящегося съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, с учетом выбранного варианта устранения выявленных нарушений градостроительных регламентов, в том числе:

а) устранить негативное техногенное влияние строящегося съезда № 10 с автомагистрали М-5 Урал по ул. Магистральная на существующие объекты недвижимости, расположенные по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21;

б) обеспечить расположение строящегося съезда № 10 с автомобильной дороги М-5 Урал на нормативно-допустимом расстоянии от входа в здание автосалона Универсал не менее 5 м, с устройством подпорной стенки вдоль бордюра съезда из буронабивных свай с глубиной заложения ниже фундаментов погребов, имеющих отметку минус 5.2 м;

в) обеспечить строительство тротуара, подъездного пути для покупателей, пешеходного прохода граждан, включая маломобильных групп населения, к входу в помещение автосалона НПК ЗАО «Универсал» вдоль ул. Магистральная с западной стороны существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21;

г) обеспечить отвод ливневых и паводковых вод от существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21, направив его от существующих объектов недвижимости к строящемуся съезду № 10 с автодороги М-5 Урал;

д) изменить поперечный уклон строящегося съезда № 10 с автомобильной дороги М-5 Урал по ул. Магистральная в направлении Москва - Челябинск к эстакаде М-5 от существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21;

е) обеспечить отвод ливневых и паводковых вод от автосалона «Универсал» и су-

ществующего проезда в воинскую часть, парковки легковых автомобилей для клиентов автосалона, расположенных южнее здания автосалона «Универсал», между автосалоном «Универсал» и строящимся съездом № 10 с автодороги М-5 Урал;

3.2.4. выполнить государственную экспертизу согласованного варианта проектной документации собственниками объектов недвижимости вдоль съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, имеющих адрес: ул. Куйбышева 21, г. Тольятти;

3.2.5. разработать рабочую документацию по устранению нарушений градостроительных регламентов и согласовать её с собственниками объектов недвижимости вдоль съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, имеющих адрес: ул. Куйбышева 21, г. Тольятти;

3.2.6. выполнить и сдать строительно-монтажные работы по согласованной рабочей документации, в т.ч. собственникам объектов недвижимости вдоль съезда № 10 с автодороги М-5 Урал, имеющих адрес: ул. Куйбышева 21, г. Тольятти.

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТА ПО ЧЕТВЕРТОМУ ВОПРОСУ

ВОПРОС: 4. Влияют ли нарушения, перечисленные при ответе на вопросы № 2, на безопасную эксплуатацию объектов недвижимости НПК ЗАО «Универсал» по их первоначальному назначению, расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21.

Вывод 4.1. Перечисленные при ответе на вопросы № 2 нарушения влияют на безопасную эксплуатацию объектов недвижимости НПК ЗАО «Универсал» по их первоначальному назначению, расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21.

Вывод 4.2. Невозможна безопасная эксплуатация существующего недвижимого комплекса Дилерского центра LADA Автосалона НПК ЗАО «Универсал», расположенных



по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева 21, с учетом дорожной деятельности, выявленных нарушений в проектных решениях по строительству съезда № 10 с автомобильной дороги М-5 «Урал», по своему первоначальному назначению, в настоящее время из-за дорожной деятельности по строительству съезда № 10 с автомобильной дороги М-5 «Урал», ни после завершения строительства транспортной развязки на 974 км в г. Тольятти.

Вывод 4.3. Из-за не возможности пешеходного подхода входа покупателей через главный вход в помещение автосалона, остановки общественного и личного транспорта для эксплуатации существующего единого недвижимого комплекса Дилерского центра LADA по своему назначению, у НПК ЗАО «Универсал» отсутствует возможность соблюдения требований действующих градостроительных регламентов, законодательства РФ, установленных стандартов и требований АВТОВАЗА к Дилеру LADA.

Вывод 4.4. Требуется закрытие и/или ликвидация автосалона НПК ЗАО «Универсал» (Дилерского центра LADA), расположенного по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева 21, в связи с невозможностью эксплуатации его по своему назначению.

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТА ПО ПЯТОМУ ВОПРОСУ:

ВОПРОС 5: *Соответствует ли размещение объектов недвижимости: НПК ЗАО «Универсал», расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21, требованиям законодательства, строительным нормам и правилам, градостроительным, техническим регламентам на дату ввода их в эксплуатацию?*

Вывод 5. Объекты недвижимости НПК ЗАО «Универсал», принадлежащие НПК ЗАО Универсал на праве собственности, расположенные по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбыше-

ва 21 соответствуют нормативным требованиям законодательства, строительным нормам и правилам, градостроительным, техническим регламентам на дату ввода объектов в эксплуатацию.

В Решении Арбитражного суда Самарской области от 04.12.2019 года по делу № А55-38446/2018 [2] указано, что на основании оценки доказательств суд приходит к выводу, что материалами дела подтверждается факт нарушения в процессе строительства автодороги прав и законных интересов НПК ЗАО «Универсал», как собственника объектов недвижимости, расположенных в непосредственной близости от указанной строящийся автодороги.

Выявленные нарушения создают НПК ЗАО «Универсал» препятствия в нормальном пользовании принадлежащими ему на праве собственности объектами недвижимости в соответствии с их назначением.

Письмом от 22.04.2011 исх. № 07-18/931 подтверждается не только наличие у Ответчика и проектной организации сведений о расположении здания автосалона в непосредственной близости с автодорогой, но и обозначение возможных вариантов решения проблемы либо путем сноса здания, либо путем его реконструкции.

В пояснениях ФАУ «Главгосэкспертиза России», представленных в суд, подтвержден вывод эксперта о том, что фактическое расстояние от бордюра автодороги до здания составляет 2,95 м. Такое расстояние не соответствует нормативному требованию в 5 м.

Таким образом, материалами дела подтверждены обстоятельства, свидетельствующие о нарушении прав Истца в связи с нарушениями, допущенными при проектировании и строительстве автодороги М-5 «Урал».

Заключением эксперта подтверждаются не только факты нарушений, имеющих место при проектировании и строительстве автомобильной дороги вблизи объектов недвижимости, расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, ул. Куйбышева



21, но и факт нарушения ответчиком прав и законных интересов НПК ЗАО «Универсал» при строительстве объекта, в том числе препятствующие нормальному пользованию объектами недвижимости, принадлежащими Истцу.

В письменных пояснениях эксперт указал, что ответчик в проекте не учел негативное воздействие строящегося съезда № 10 с автодороги М-5 «Урал» на существующие объекты недвижимости в непосредственной близости - 2,95 м вдоль ул. Магистральной, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева 21, у которых глубина заложения подошвы фундамента расположена отметка минус - 5,74 м.

Следовательно, без устройства защитных инженерных сооружений по защите от негативных воздействий съезда № 10 с автодороги М-5 «Урал» на существующие сооружения вдоль улицы Магистральной, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева 21, с учетом угла естественного откоса существующих грунтов, расстояние от края съезда № 10 с автодороги М-5 «Урал» до линии застройки должно быть не менее 8,61 метра = (1,5х5,74).

Суд считает, что обозначенные действия по внесению изменений в проектную и рабочую документации должны быть совершены ответчиком в течение шести месяцев со дня вступления в силу решения суда по арбитражному делу № А55-38446/2018 [2].

Названный срок является разумным и достаточным для исполнения соответствующей обязанности, в том числе с учетом нормативно установленных сроков для проведения государственной экспертизы проектной документации согласно Положению «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» [14].

По материалам заключения эксперта, Арбитражным судом Самарской области вынесено Решение, по которому иски требования удовлетворены [2]: «Обязать ФКУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Большая Волга» Федерального

дорожного агентства» не позднее выдачи ему разрешения на ввод строящегося объекта в эксплуатацию устранить нарушения прав НПК ЗАО «Универсал», допущенные при строительстве объекта: «Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область» в районе объектов недвижимости, расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21, а именно:

обеспечить минимальное расстояние 5 м от линии застройки существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 вдоль улицы Магистральная до края основной проезжей части (бордюра) съезда № 10 с автодороги М-5 Урал;

обеспечить строительство тротуара, подъездного пути, пешеходного прохода граждан, включая маломобильных групп населения, к входу в помещение автосалона НПК ЗАО «Универсал» вдоль ул. Магистральная западнее многофункционального комплекса;

обеспечить отвод ливневых и паводковых вод от объектов ЗАО НПК «Универсал», направив его от здания многофункционального комплекса ЗАО НПК «Универсал», изменить поперечный уклон строящегося съезда с автомобильной дороги М-5 вдоль ул. Магистральная в направлении Москва - Самара;

обеспечить отвод ливневых и паводковых вод с существующего проезда, расположенного южнее здания автосалона ЗАО НПК «Универсал», между земельным участком НПК ЗАО «Универсал» с кадастровым номером 63:09:0201060:16167 и воинской частью, примыкающего к строящейся автомобильной дороге.

Обязать ФКУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Большая Волга»



Федерального дорожного агентства» в течение шести месяцев со дня вступления в силу решения суда по арбитражному делу № А55-38446/2018 внести изменения в проектную и рабочую документации по объекту:

«Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство транспортной развязки на км 974 автомобильной дороги М-5 «Урал» - от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска, Самарская область» в районе объектов недвижимости, расположенных по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Комсомольский район, ул. Куйбышева, 21, которые позволят:

обеспечить минимальное расстояние 5 м от линии застройки существующих объектов недвижимости, расположенных по адресу: г. Тольятти, ул. Куйбышева, 21 вдоль улицы Магистральная до края основной проезжей части (бордюра) съезда № 10 с автодороги М-5 Урал;

обеспечить строительство тротуара, подъездного пути, пешеходного прохода граждан, включая маломобильных групп населения, к входу в помещение автосалона НПК ЗАО «Универсал» вдоль ул. Магистральная западнее многофункционального комплекса;

обеспечить отвод ливневых и паводковых вод от объектов ЗАО НПК «Универсал», направив его от здания многофункционального комплекса ЗАО НПК «Универсал», изменить поперечный уклон строящегося съезда с автомобильной дороги М-5 вдоль ул. Магистральная в направлении Москва - Самара;

обеспечить отвод ливневых и паводковых вод с существующего проезда, расположенного южнее здания автосалона ЗАО НПК «Универсал», между земельным участком НПК ЗАО «Универсал» с кадастровым номером 63:09:0201060:16167 и воинской частью, примыкающего к строящийся автомобильной дороге».

На Решение ответчиком была подана апелляционная жалоба.

Одиннадцатый арбитражный апелляционный суд рассмотрел жалобу по проверке законности и обоснованности решения арбитражного суда, не вступившего в законную силу и вынес Постановление, резолютивная часть которого оглашена 12 марта 2020 года.

Постановление в полном объеме изготовлено 19 марта 2020 года, по которому Одиннадцатый арбитражный апелляционный суд, постановил [2]:

- «Решение арбитражного суда Самарской области от 4 декабря 2019 года по делу № А55-38446/2018, оставить без изменения, апелляционную жалобу - без удовлетворения».

На Постановление ответчиком была направлена кассационная жалоба.

Рассмотрев кассационную жалобу, Арбитражный суд кассационной инстанции Поволжского округа вынес Постановление (резолютивная часть) от 03.06.2020 года, в котором Постановил [2]:

- «Решение арбитражного суда Самарской области от 04.12.2019 и Постановление одиннадцатого арбитражного апелляционного суда от 19.03.2020 по делу № А55-38446/2018 оставить без изменения, кассационную жалобу без удовлетворения».

В результате, для исполнения Решения суда необходимо бюджету выделить дополнительные инвестиции на устранение выявленных экспертом нарушений нормативно-правовых актов и градостроительных регламентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам проведенных исследований, авторы пришли к выводу, что огромное значение на качество всех работ по осуществлению дорожной деятельности имеют ошибки, допущенные из-за низкого качества исходно-разрешительных документов или неверных данных о существующей инфраструктуре, застройке или рельефе местности, или игнорирование представителями Заказчика действующих нормативных документов.



Основная причина низкого качества отсутствие действующего механизма обеспечения персональной ответственности исполнителей за результаты и контроль качества выполненной работы, а также недостаточная квалификация специалистов в штате проектной организации, что приводит к неэффективному использованию и или к огромным потерям выделенных государственных инвестиций.

Государством должна быть пересмотрена система управления качеством в дорожной деятельности на протяжении всех этапов жизненного цикла объекта (мотивации, планирования, контроля проведения изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации). Порочная практика экономии на подготовке инженерных изысканий и проектно-технической документации создает предпосылки к снижению качества и персональной ответственности исполнителей за результаты работы.

В результате на качестве проектной документации отражается несоответствием принятых решений требованиям нормативных документов в области дорожной деятельности и недостаточными обоснованиями принимаемых проектных решений.

Генеральные подрядные проектные организации зачастую располагают ограниченным штатом специалистов и при работе над сложными проектами привлекают многочисленные специализированные субподрядные организации. При этом их действия недостаточно скоординированы генеральной проектной организацией, что приводит к отсутствию согласованности и связанности проектных решений.

Работа по таким объектам затруднена еще и по той причине, что зачастую проектные организации находятся в разных регионах и городах Российской Федерации. Как следствие, отработка замечаний экспертов - несмотря на высокий уровень развития современных средств коммуникации - не укладывается в отведенное законодательством время.

Необходимо предусматривать механизмы не только солидарной ответственности исполнителей работ, но и мотивация испол-

нителей на всем жизненном цикле объекта. Только мотивация и персональная ответственность за качественные результаты инженерных изысканий, за выполненные для подготовки проектной документации становятся основой для обеспечения высокого качества выполняемых работ, безаварийного и высокоэффективного строительства и эксплуатации возведенных объектов.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
2. Материалы арбитражного дела А55-38446/2018.
3. Предложения по преодолению кризиса российской экономики // С.М. Анпилов, А.Н. Сорочайкин // Экономика, управление и право в современных условиях. Тольятти: Изд-во ИССТЭ, 2020. - Вып. 31. С. 21-34.
4. Федеральный Закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в РФ» от 08.11.2007 г. № 257-ФЗ // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
5. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
6. СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
7. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
8. Федеральный закон «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений» от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>
9. РДС 30-201-98 Инструкция о порядке проектирования и установления красных линий в городах и других поселениях РФ. 1998 г. // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>



10. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>

11. СНиП 2.07.01-89* (СП 42.13330-2016) Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>

12. СП 140.13330.2012. Городская среда. Правила проектирования для маломобильных групп населения // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>

13. Постановление Правительства от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении

перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ред. от 07.12.2016) // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>

14. Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 N 145 (ред. от 31.12.2019) “О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий” // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/>

Поступила в редакцию 08.06.2020 г.



**BASIC AND APPLIED RESEARCH ON THE QUALITY
PROBLEM OF COMPLETED WORKS
(ARBITRAL PRACTICE)**

© 2020 S.M. Anpilov, A.N. Sorochaikin*

The authors conclusions were demonstrated and formulated on the basis of practically realized basic and applied research, the results of expert studies were shown. These results led to the adoption of acts in three courts. According to the authors, the problems of the quality of the completed work are a complex problem.

The quality problem of the completed work cannot be solved without a global change in the structures of the countrys administration and the construction industry.

Key words: arbitration, design, construction, quality of work, project, examination, court decision.

Received for publication on 08.06.2020

* Anpilov Sergey Mihailovich - Honored Inventor of the Russian Federation, Honorary Builder, Doctor of Technical, Advisor RAABS, expert; Sorochaikin Andrey Nikonovich - Candidate of Economic, Doctor of Philosophy, Honorary Builder, expert; both - INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia).

ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ОБОЖЖЕННОЙ ГЛИНЫ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД*

© 2020 А.С. Балыков, Т.А. Низина,
В.В. Володин, Д.И. Коровкин**

Приведены результаты исследования прочности при сжатии цементного камня в возрасте 1, 7 и 28 суток, модифицированного поликарбоксилатным суперпластификатором и минеральными добавками на основе местных сырьевых ресурсов Республики Мордовия обожженная полиминеральная глина, доломит и термоактивированная смесь глины и известняка. Зафиксирован высокий темп набора прочности цементных композитов при сжатии в возрасте 1 и 7 суток 41÷50 и 75÷86% от прочности в возрасте 28 суток соответственно. Выявлены оптимальные дозировки минеральных добавок обожженной глины и термоактивированной смеси глины и известняка, способствующие повышению прочностных показателей цементного камня относительно контрольного бездобавочного состава не более 19 и 12% от массы твердой фазы соответственно. Установлена относительная химическая инертность Ельниковского доломита в цементных системах.

Ключевые слова: цементный камень, минеральная добавка, обожженная глина, карбонатные породы, прочность при сжатии.

В настоящее время цементный бетон является основным конструкционным строительным материалом. От его качества, соответствия свойств функциональному назначению и условиям эксплуатации зависит надёжность и долговечность строительных изделий и конструкций. При этом известно, что одним из основных средств управления процессами структурообразования и физико-механическими характеристиками бетонов является применение различного рода модификаторов цементных систем химических и минеральных добавок, используемых как индивидуально, так и комплексно [1, 2].

Известно, что алюмосиликатные породы, составляющие более 70% земной коры, являются распространённым сырьём для получения эффективных модификаторов цементных систем. В частности, одной из наиболее пуццоланически активных минеральных добавок для бетонов является метакаолин, представляющий собой продукт термической обработки мономинеральных каолиновых глин в диапазоне 650÷800 °С [3]. Однако территориальная и количественная ограниченность каолиновых глин, высокая стоимость получаемого обогащённого сырья, растущие потребности в каолине бумажной и медицинской промышленности обус-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Мордовия в рамках научного проекта № 18-43-130008. Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Балыков Артемий Сергеевич (artbalrun@yandex.ru) - кандидат технических наук, инженер; Низина Татьяна Анатольевна (nizinata@yandex.ru) - доктор технических наук, профессор; Володин Владимир Владимирович (volodinvv1994@gmail.com) - аспирант; Коровкин Дмитрий Игоревич (asfkorovkin@yandex.ru) - аспирант; все - Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, РФ).



лавливают низкую степень применения метакеолина в цементной отрасли. В связи с этим актуальным направлением является разработка пуццолановых добавок на основе широко распространенных полиминеральных глин [4].

Применение обожженных глин в качестве минеральных добавок для цементных систем имеет достаточно давнюю историю. Уже в начале 1930-х годов в СССР и США проводились исследования пуццолановой активности глинистых и возможности их использования в строительной отрасли. В работах [5-11] на основе оценки реакционной способности термоактивированных глин определены оптимальные параметры их обжига в зависимости от химико-минералогического состава исходного сырья. Установлено, что повышенной активностью отличаются первоначальные продукты дегидратации и терморазрушения глинистых минералов с частично перестроенной (метастабильной) кристаллической решеткой. При этом переход в активную форму большинства глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит, иллит, бентонит и др.) достигается в температурном диапазоне 400÷800 °С.

Целью данной работы являлось исследование влияния минеральных добавок на основе обожженной полиминеральной глины и карбонатных пород Республики Мордовия на прочность при сжатии цементного камня в возрасте 1, 7 и 28 суток.

Основным компонентом вяжущего в рецептуре цементных систем являлся портландцемент 500-Д0-Н производства ПАО «Мордовцемент» (Ц). В качестве модификаторов использовались поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 5581 F (СП) и следующие виды минеральных добавок (МД):

1) термоактивированная глина Никитского месторождения Республики Мордовия (ТГН) (температура и длительность обжига - 700°С и 2 часа; $S_{уд.} = 7800 \text{ см}^2/\text{г}$ (помол в течение 1 часа));

2) доломит Ельниковского месторождения Республики Мордовия (ДЕ) ($S_{уд.} = 4450 \text{ см}^2/\text{г}$ (помол - 3 часа));

3) термоактивированная смесь Никитской глины и известняка Атемарского месторождения Республики Мордовия (ТС(ГН+ИА)) (соотношение глины и известняка = 2:1; температура и длительность обжига - 700°С и 2 часа).

Исследование проводилось на цементных системах с дозировкой суперпластификатора Melflux 1% от массы вяжущего (портландцемент + минеральная добавка) и водовязущим отношением $B/(Ц+МД)=0,21$ при варьировании содержания применяемых минеральных модификаторов в составах в диапазоне 0÷20% от массы вяжущего (Ц+МД) с шагом 5% (см. таблицу).

Определение прочностных показателей цементного камня при сжатии проводилось на установке Wille Geotechnik® (модель 13-PD/401). Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялись с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8.

По результатам экспериментальных исследований (см. рисунок) выявлено, что исследуемые составы с минеральными добавками ТГН, ДЕ и ТС(ГН+ИА) отличаются высокими темпами набора прочности цементного камня при сжатии в возрасте 1 и 7 суток - 41÷50 и 75÷86% от прочности в возрасте 28 суток соответственно.

Установлено, что при применении добавок термоактивированной полиминеральной Никитской глины и термоактивированной смеси Никитской глины и Атемарского известняка наиболее высокие значения предела прочности цементного камня при сжатии в возрасте 28 суток достигнуты в составах №2 и 9 (см. таблицу) при содержаниях указанных модификаторов соответственно равных 10 и 5% от массы вяжущего (Ц+МД) - 117,2 и 114,9 МПа. При этом по результатам анализа рисунка выявлены оптимальные дозировки минеральных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА), способствующие повышению прочностных показателей цементных систем - не более 19 и 12% от массы твердой фазы соответственно. При установленных уровнях



Исследуемые составы цементных систем

Номер состава	Портландцемент	Вид минеральной добавки		
		ТГН	ДЕ	ТС(ГН+ИА)
		% массы твердой фазы (портландцемент + минеральные добавки)		
1	95	5	-	-
2	90	10	-	-
3	85	15	-	-
4	80	20	-	-
5	95	-	5	-
6	90	-	10	-
7	85	-	15	-
8	80	-	20	-
9	95	-	-	5
10	90	-	-	10
11	85	-	-	15
12	80	-	-	20
Контрольный	100	-	-	-

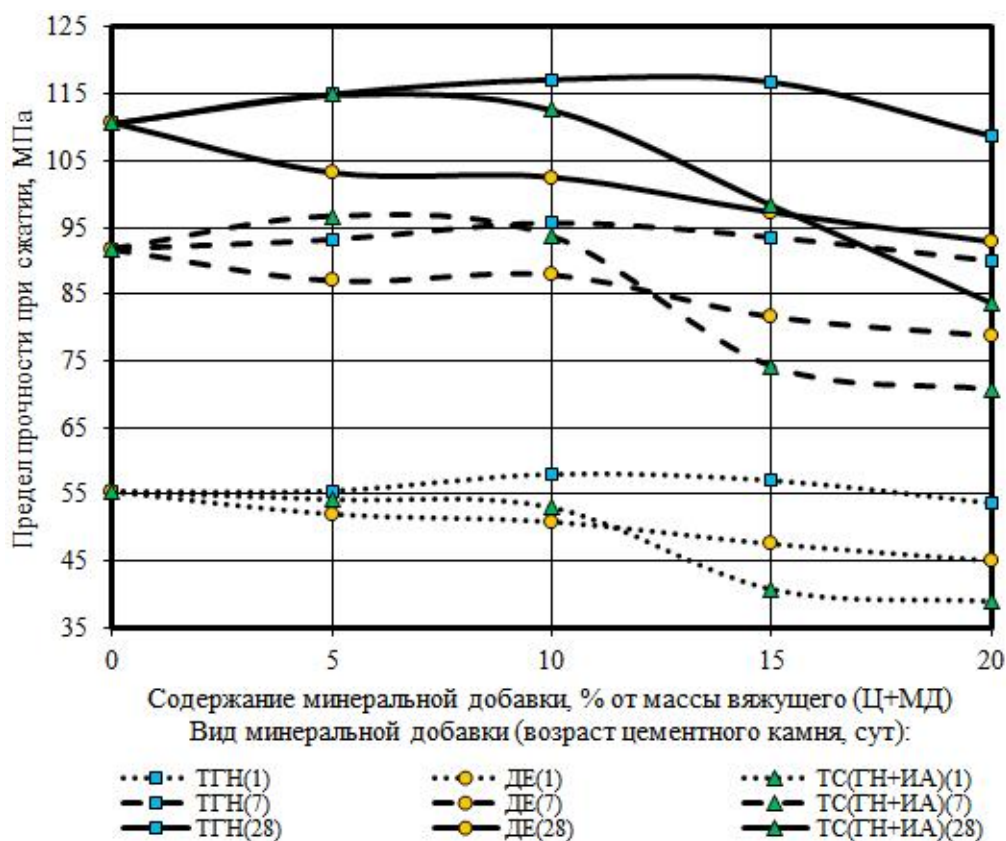


Рис. Влияние вида и дозировки минеральных добавок на предел прочности при сжатии цементного камня в возрасте 1, 7 и 28 суток

дозировок минеральные добавки на основе термоактивированной Никитской глины и термоактивированной смеси Никитской глины и Атемарского известняка являются активными и обладают повышенной физико-химической эффективностью. Превышение указан-

ного уровня содержания минеральных добавок приводит к падению прочностных показателей цементного камня ниже значения, характерного для контрольного состава.

По результатам исследования (см. рисунок) установлено, что Ельниковский доломит



является инертной минеральной добавкой. Увеличение содержания в рецептуре цементных систем указанного наполнителя с 5 до 20% от массы твердой фазы (Ц+МД) приводит к последовательному снижению прочности при сжатии цементного камня в возрасте 28 суток со 103,1 до 92,8 МПа соответственно. При этом достигнутый уровень прочностной характеристики цементных композитов исследуемых составов на 7÷16% ниже аналогичного показателя контрольного состава (110,6 МПа).

Библиографический список

1. Давидюк А.Н. Бетон в строительстве новые вызовы и перспективы // Вестник НИЦ. Строительство. - 2017. - №12. - С. 5-13.
2. Ушеров-Маршак А.В. Бетоны нового поколения бетоны с добавками // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. - 2011. - №1. - С. 7881.
3. Tironi A. Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans / A. Tironi, M.A. Trezza, A.N. Scian, E.F. Irassar // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 28. Issue 1. Pp. 276281. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.064.
4. Rakhimov R.Z. Effect of the Addition of Thermally Activated Heavy Loam to Portland Cement on the Properties of Cement Stone / R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gayfullin, V.P. Morozov // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. Vol. 9. No. 4. Pp. 679686. DOI: 10.1134/S2075113318040330
5. Fernandez R. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite / R. Fernandez, F. Martirena, K.L. Scrivener // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41.No. 1. Pp. 113122.
6. Schulze S.E. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials / S.E. Schulze, R. Pierkes, J. Rickert // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement, 2015. 693 p.
7. Sabir B.B. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review / B.B. Sabir, S. Wild, J. Bai // Cement and Concrete Composites. 2001. Vol. 23. No.6. Pp. 441454. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00092-5
8. Гайфулин А.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня / А.Р. Гайфулин, Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - №7(59). - С. 66-73.
9. Низина Т.А. Влияние добавок в портландцемент обожжённой глины на прочность цементного камня / Т.А. Низина, В.В. Володин, А.С. Балыков, Д.И. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. - 2019. - №3 (40). - С. 58-68.
10. Володин В.В. Опыт применения обожжённой глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам / В.В. Володин, Т.А. Низина, А.С. Балыков, Д.И. Коровкин [и др.]. // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. - С. 36-42.
11. Balykov A.S. Optimization of formulations of cement composites modified by calcined clay raw material for energy efficient building constructions / A.S. Balykov, T.A. Nizina, V.V. Volodin, D.I. Korovkin // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2019. Pp. 307-310. DOI: 10.1007/978-3-030-22974-0_73

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



STRENGTH OF CEMENT STONE WITH MINERAL ADDITIVES
BASED ON CALCINED CLAY AND CARBONATE ROCKS

© 2020 A.S. Balykov, T.A. Nizina,
V.V. Volodin, D.I. Korovkin*

Study results of cement stone compressive strength aged 1, 7 and 28 days, modified with polycarboxylate superplasticizer and mineral additives based on local raw materials of the Republic of Mordovia (calcined polymineral clay, dolomite and thermally activated mixture of clay and limestone) are presented. High rate of increasing cement composites compression strength at the age of 1 and 7 days (41-50 and 75-86% of the strength at the age of 28 days, respectively) was recorded. Optimal dosages of mineral additives of calcined clay and thermally activated mixture of clay and limestone are identified, the sizes of which do not exceed 19 and 12 % by binder weight, respectively, which contribute to an increase in strength characteristics of cement stone relative to the control composition without additives. The relative chemical inertness of Elnikovsky dolomite in cement systems is revealed.

Keywords: cement stone, mineral additive, calcined clay, carbonate rocks, compressive strength.

Received for publication on 03.06.2020

* Balykov Artemy Sergeevich - Candidate of Technical Sciences, Engineer; Nizina Tatyana Anatolyevna - Doctor of Technical Sciences, Professor; Volodin Vladimir Vladimirovich - Postgraduate Student; Korovkin Dmitry Igorevich - Postgraduate Student; all - National Research Mordovia State University (Saransk, Russia).



ВЫРАВНИВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ С ОТВЕРСТИЯМИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С НАПРАВЛЕННОЙ СТРУКТУРОЙ*

© 2020 А.Л. Лазарев, Н.М. Коешов**

Приведено описание решения задачи снижения локальных напряжений в области технологических отверстий за счет направленного изменения упругих характеристик материала конструкции в соответствии с желательным напряженным состоянием.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, отверстия, концентрация напряжений, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Спектр применения тонкостенных строительных конструкций очень широк и неуклонно расширяется. Их преимущества в качестве ограждающих конструкций для сооружений со значительными внутренними объемами по сравнению другими видами строительных конструкций неоспоримы. Не только инженерные, но также архитектурные критерии зачастую являются основанием для применения тонкостенных строительных конструкций.

Расчет и проектирование элементов, тонкостенных конструкций рассматривает их упругий характер напряженно-деформированного состояния. Очень часто сплошность многих конструкций нарушается различного рода отверстиями по конструктивным, технологическим и другим соображениям. В непосредственной близости от них возможно возникновение локальных напряжений, значительно превосходящие основные в неослабленных плоскостях. В некоторых случаях режим работы конструкций с нерасчетными напряжениями в районе концентраторов,

которыми являются отверстия, приводит к нежелательному перераспределению напряжений, с возможным возникновением недопустимых пластических деформаций [1].

Изучение напряженного и деформированного состояния в зоне концентрации относится к числу наиболее сложных задач теории упругости, пластичности и ползучести [2].

Изучению проблемы снижения локальных напряжений посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых [3 - 5]. Однако зачастую приводимые решения не являются исчерпывающими, что связано со сложностью и многогранностью решаемой задачи.

Особый интерес представляют решения, связанные с применением композиционных строительных материалов с направленной структурой.

В работе [6] авторами представлено решение задачи выравнивания напряжений в районе отверстий с применением функционально-градиентные композиционных материалов.

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Лазарев Александр Львович (aleks-laz@yandex.ru) - кандидат технических наук, доцент; Коешов Нурдин Мателович (koeshovnurdin@gmail.com) - кандидат технических наук, преподаватель; оба - Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, РФ).

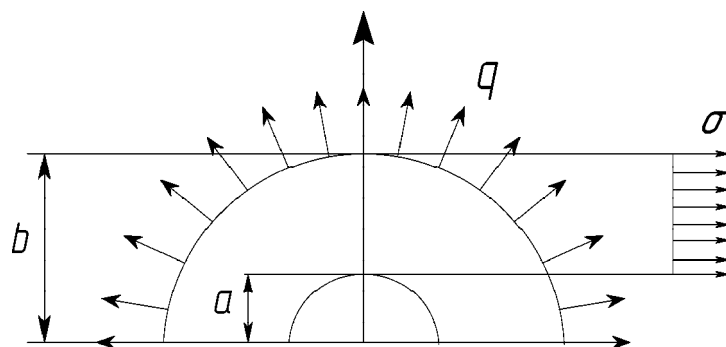


Рис. 1. Плоское осесимметричное напряженное состояние кольца

Для решения задачи определения характера напряженного состояния пластинки, ослабленной отверстием, предварительно рассмотрим плоское осесимметричное напряженное состояние модели в виде кольца (рис. 1). Внутренняя поверхность кольца, очерченная по окружности радиуса a , от нагрузки свободна, а на наружный контур радиуса b действуют равномерно распределенные радиальные напряжения q . Предполагается, что упругие свойства материала кольца изменяются в радиальном направлении. В общем случае существует цилиндрическая ортотропия, при которой закон Гука записывается в виде

$$\begin{cases} \varepsilon_r = A_{11}\sigma_r + A_{12}\sigma_\theta \\ \varepsilon_\theta = A_{21}\sigma_r + A_{22}\sigma_\theta \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $A_{11} = A_{11}(r)$, $A_{22} = A_{22}(r)$, $A_{12} = A_{21}(r)$ – упругие характеристики материала кольца, являющиеся функциями расстояния r от центра. Для напряжений и деформаций использованы общепринятые обозначения.

Подстановка выражений (1) в уравнение неразрывности деформаций

$$\frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\theta}{r} = \frac{d\varepsilon_\theta}{dr}$$

приводит последнее к виду

$$\frac{d}{dr}(A_{22}\sigma_\theta) + \sigma_r \frac{dA_{12}}{dr} = \frac{A_{11}\sigma_r - A_{22}\sigma_\theta}{r} \quad (2)$$

Таково уравнение неразрывности деформаций в полярных координатах, выраженное через напряжения, для неоднородного цилиндрически ортотропного тела. Наличие в одном уравнении (2) трех упругих ха-

рактеристик $A_{11}, A_{22}, A_{12} = A_{21}$ позволяет двумя из них распоряжаться произвольно (в пределах физически допустимых значений). В частности, цель достигается при использовании неоднородного изотропного материала с переменным модулем упругости $E = E(r)$ и постоянным коэффициентом Пуассона $\nu = \text{const}$. Принимая во внимание, что в этом случае

$$A_{11} = A_{22} = A = 1/E,$$

$$A_{12} = A_{21} = -\frac{\nu}{E} = -\nu A$$

из формулы (2) получаем

$$A \frac{d(\sigma_r + \sigma_\theta)}{dr} + (\sigma_\theta - \nu\sigma_r) \frac{dA}{dr} = 0 \quad (3)$$

или

$$\frac{dA}{A} = \frac{1}{\nu\sigma_r - \sigma_\theta} \cdot \frac{d(\sigma_r + \sigma_\theta)}{dr} dr.$$

Интегрируя, находим

$$A = C \cdot \exp \int \frac{1}{\nu\sigma_r - \sigma_\theta} \cdot \frac{d(\sigma_r + \sigma_\theta)}{dr} dr$$

или, имея в виду, что при

$$A = 1/E, \quad E = C \cdot \exp F(r) \quad (4)$$

Здесь принято обозначение

$$F(r) = \int \frac{1}{\sigma_\theta - \nu\sigma_r} \cdot \frac{d(\sigma_r + \sigma_\theta)}{dr} dr \quad (5)$$

Если при $r = b$ $E = E_b$, то

$E_b = C \cdot \exp F(b)$, следовательно,

$$\frac{E}{E_b} = \frac{\exp F(r)}{\exp F(b)} \quad (6)$$

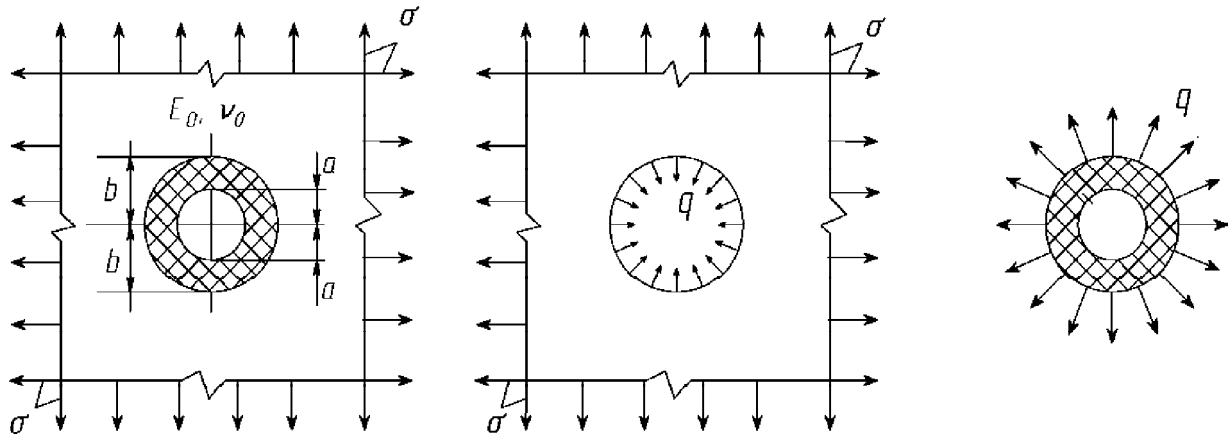


Рис. 2. Расчетная схема пластинки, ослабленной отверстием радиуса a и растягиваемой напряжениями σ

Потребуем, чтобы окружные напряжения σ_θ распределялись по кольцу равномерно (рис. 1). Тогда из условий равновесия

$$\sigma_r = \left(1 - \frac{a}{r}\right) \sigma_\theta. \quad (7)$$

В частности

$$q = \left(1 - \frac{a}{b}\right) \sigma_\theta. \quad (8)$$

Подстановка (8) в (5) дает следующее выражение:

$$F(r) = -\frac{1}{\nu} \ln \left[(1 - \nu) + \nu \frac{a}{r} \right]. \quad (9)$$

Далее в соответствии с выражением (6) нетрудно получить

$$\frac{E}{E_b} = \left[\frac{(1 - \nu) + \nu \frac{a}{b}}{(1 - \nu) + \nu \frac{a}{r}} \right]^{\frac{1}{\nu}}. \quad (10)$$

При $\nu = 0$ формула (10) дает неопределенность, источником которой является неопределенность, появляющаяся в правой части формулы (9). Раскрывая ее, получим, что при $\nu = 0$

$$F(r) = 1 - \frac{\sigma}{r},$$

после чего

$$\frac{E}{E_b} \Big|_{\nu=0} = \frac{e^{\frac{a}{b}}}{e^{\frac{a}{r}}}. \quad (11)$$

Перейдем к задаче о пластинке, ослабленной отверстием радиуса a и растягиваемой напряжениями σ (рис. 2). Модуль

упругости и коэффициент Пуассона пластинки обозначены через E_0 и ν_0 . Отверстие окружено вставкой-шайбой с наружным радиусом b . Эта вставка предназначена для снижения напряжений возле отверстия.

Полагаем, что вставка представляет неоднородное изотропное тело с переменным модулем упругости $E = E(r)$ и постоянным коэффициентом Пуассона $\nu = \text{const}$.

Если в пределах шайбы-вставки задать характер распределения окружных напряжений σ_θ , то можно использовать решение предшествующей задачи. В дальнейшем это распределение принимаем равномерным, полагая, что $\sigma_\theta = p$.

Радиальные напряжения, действующие на границе вставки, обозначим через q . Их величина в соответствии с (4.8) определится как

$$q = (1 - \alpha)p. \quad (12)$$

Здесь принято обозначение $\alpha = \frac{a}{b}$. Окружные напряжения в пластинке на линии контакта со вставкой будут равны

$$\sigma_\theta^0|_{r=b} = 2\sigma - q,$$

тогда с учетом (4.12)

$$\sigma_\theta^0|_{r=b} = 2\sigma - (1 - \alpha)p \quad (13)$$

Эти напряжения, которые для пластинки, окружающей вставку, являются максимальными, ограничим некоторой величиной $[y]$, находящейся в пределах от σ до 2σ . Из равенства



находим

$$[\sigma] = 2\sigma - (1 - \alpha)p \quad (14)$$

В формуле (14) использованы обозначения

$$K = \frac{2\sigma}{[\sigma]}; n = \frac{[\sigma]}{p}. \quad (15)$$

Отношение $K = 2\sigma/[\sigma]$ показывает, во сколько раз снизятся максимальные напряжения в пластинке благодаря включению вставки, окружающей отверстие. Используя (14), формулу (12) переписываем в виде

$$q = np(K - 1) \quad (16)$$

Относительные окружные деформации на линии сопряжения пластинки и вставки записываются следующим образом. Для вставки имеем

$$\varepsilon_{\theta}^0|_{r=b} = \frac{1}{E_0}(|\sigma| - \nu_0 q)$$

или с учетом (16) и обозначений (15)

$$\varepsilon_{\theta}^0|_{r=b} = \frac{1}{E_0}np(1 - \nu_0(K - 1)) \quad (17)$$

Если модуль упругости вставки на ее наружном крае равен E_b , то

$$\varepsilon_0|_{r=b} = \frac{1}{E_0}(p - \nu q)$$

или, имея в виду (16)

$$\varepsilon_0|_{r=b} = \frac{1}{E_b}np\left[\frac{1}{n} - \nu(K - 1)\right] \quad (18)$$

Из условия совместности деформаций, т. е. равенства

$$\varepsilon_0|_{r=b} = \varepsilon_{\theta}^0|_{r=b}$$

после приравнивания правых частей формул (17) и (18), получаем

$$\frac{E_b}{E_0} = \frac{\frac{1}{n} - \nu(K - 1)}{1 - \nu_0(K - 1)}. \quad (19)$$

Если принять окружные напряжения в пластинке и вставке вдоль линии их контакта одинаковыми (когда $n = 1$), то будем иметь

$$\frac{E_b}{E_0} = \frac{1 - \nu(K - 1)}{1 - \nu_0(K - 1)}. \quad (20)$$

Получив из формулы (19) или ее частного случая (20) величину, по формулам (10) или (11) находим закон изменения модуля упругости вставки, при котором реализуется заданное напряженное состояние. Градиентное изменение модуля упругости вставки при практической реализации может заменяться дискретным.

Библиографический список

1. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. - Киев: Наукова думка, 1968. - 891 с.
2. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. - М.: Машиностроение, 1993. - 640 с.
3. Мамедсадыгов Г.Г. Напряженное состояние круглой пластинки, изготовленной из физически нелинейного материала, ослабленной круглыми отверстиями, подверженной внутренним и внешним давлениям: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Г.Г. Мамедсадыгов. - Баку, 1984. - 191 с.
4. Карпов Е.В. Концентрация напряжений и разрушение вблизи круговых отверстий в композитных элементах конструкций: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Е.В. Карпов. - Новосибирск, 2002. - 119 с.
5. Барашков В.Н. Моделирование пространственного напряженно-деформированного состояния балки-стенки / В.Н. Барашков, А.А. Матвеев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2010. - № 3. - С. 92-104.
6. Селяев В.П. Функционально-градиентные композиционные строительные материалы и конструкции / В.П. Селяев, В.А. Карташов, В.Д. Клементьев, А.Л. Лазарев. - Саранск: Изд-во Мордов.ун-та, 2005. - 160 с.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



STRESS EQUALIZATION IN ELEMENTS WITH HOLES, DUE TO THE USE OF MATERIALS WITH A DIRECTIONAL STRUCTURE

© 2020 A.L. Lazarev, N.M. Koeshov*

A description of the solution to the problem of reducing local stresses in the area of process holes due to a directional change in the elastic characteristics of the construction material in accordance with the desired dressed state is given.

Keywords: stress-strain state, holes, stress concentration, modulus of elasticity, Poisson's ratio.

Received for publication on 03.06.2020

* Lazarev Aleksandr Lvovich - Candidate of Technical Science, Associate Professor; Koeshov Nurdin Matlovich - Candidate of Technical Science, Lecturer; both - National Research Ogarev Mordovian State University (Saransk, Russia).



ПРОЧНОСТЬ СЖАТЫХ И РАСТЯНУТЫХ НАКЛОННЫХ ПОЛОС В СТЕНАХ ИЗ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА НАКЛОНА ПОСТЕЛЬНЫХ ШВОВ*

© 2020 Н.Н. Ласьков**

Приводятся результаты анализа изменения прочности сжатых и растянутых наклонных полос в стенах из кирпичной кладки при изменении угла ориентации постельных швов.

Ключевые слова: прочность, кирпичная кладка, сжатые и растянутые наклонные полосы, угол ориентации постельных швов.

В результатах научных исследований, проведенных в ПГУАС на основе комплексной программы, приведены многочисленные данные экспериментальных исследований стен. Анализ результатов этих исследований позволил выявить закономерности влияния основных факторов на прочность стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил.

Получено подтверждение, что работа стен значительно отличается от работы балочных элементов, и стены при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил испытывают сложное напряженное состояние.

Их сопротивление определяется в первую очередь факторами, присущими только стенам, к которым относятся: соотношение вертикальных и горизонтальных сил, соотношение высоты и длины, наличие проемов, армирование поля стен, ортотропные свойства материала для стен из каменной кладки. На рис. 1 показаны схемы разрушения кирпичных стен, на которых наглядно показаны изменения углов наклона трещин при изменении соотношения вертикальных и горизонтальных сил.

В этой работе описываются аппроксимационные модели влияния изменения угла ориентации горизонтальных швов в стенах из кирпичной кладки на прочность сжатых и растянутых наклонных полос.

Каменная кладка состоит из двух материалов - камня и раствора - и из-за наличия горизонтальных швов обладает неоднородной регулярной ортотропной структурой. На основе анализа физического и численного экспериментов полученных в ПГУАС [1 - 5], а также по результатам исследований ученых Нью-Кастлинского университета [6, 7] установлено, что прочность кирпичной кладки зависит от ориентации постельных швов относительно направлений главных сжимающих (s_1) и растягивающих (s_2) напряжений. Используя результаты физических экспериментов, представленных в работах [6, 7], в ПГУАС были построены графики изменения напряжений сжатия и растяжения при изменении угла наклона постельных швов к линиям действия главных напряжений. Оказалось, что с уменьшением угла наклона условной сжатой полосы величина напряжений поперек постельных швов s_1 падает, а вели-

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Ласьков Николай Николаевич (lask58@mail.ru) - доктор технических наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Россия, Пенза.

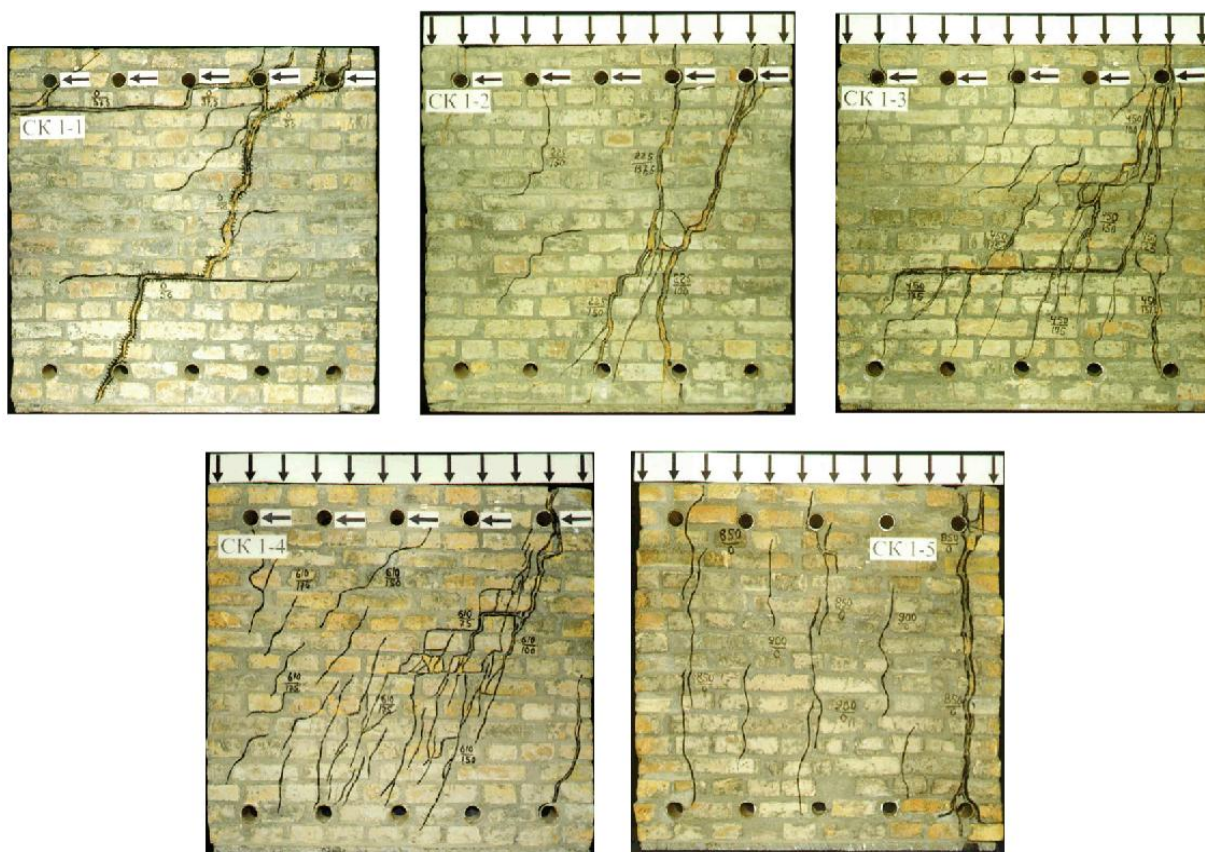


Рис. 1. Схемы разрушения кирпичных стен и изменение углов наклона трещин при изменении соотношения вертикальных и горизонтальных нагрузок

чина напряжений вдоль постельных швов s_2 возрастает. Такая же закономерность имеется и с изменением главных растягивающих напряжений при изменении угла наклона постельных швов. Это убеждает в том, что прочность каменной кладки при двухосном напряженном состоянии необходимо оценивать с учетом ориентации постельных швов относительно направления главных сжимающих и главных растягивающих напряжений.

На основе совместного анализа результатов собственных экспериментов и экспериментов, проведенных учеными Нью-Кастлинского университета, получены графики (модели), описывающие зависимости прочности каменной кладки для главных сжимающих (s_1) и растягивающих (s_2) напряжений при изменении угла наклона постельных швов. Геометрическая интерпретация зависимостей показана на рис. 2.

Для учета влияния угла наклона постельных швов на прочностные характеристики каменной кладки при оценке прочности стен

на совместное действие вертикальных и горизонтальных сил разработаны аналитические зависимости понижающих коэффициентов. Предлагается для учета изменения прочности каменной кладки сжатой наклонной полосы использовать коэффициент γ_{σ_c} (см. рис. 2а). Для учета изменения прочности каменной кладки условно растянутой наклонной полосы использовать коэффициент γ_{σ_t} (см. рис. 2б).

Аналитические выражения аппроксимационных моделей изменения прочности каменной кладки от изменения угла наклона постельных швов получены на основе математического анализа экспериментальных данных. Аппроксимирующие функции представлены в виде уравнений косинусо-образных кривых:

$$\gamma_{\sigma} = C + A \cdot \cos(w \cdot \theta + \varphi_0) \quad (1)$$

Значения коэффициентов C , A , w и φ_0 определим методом наименьших квадратов

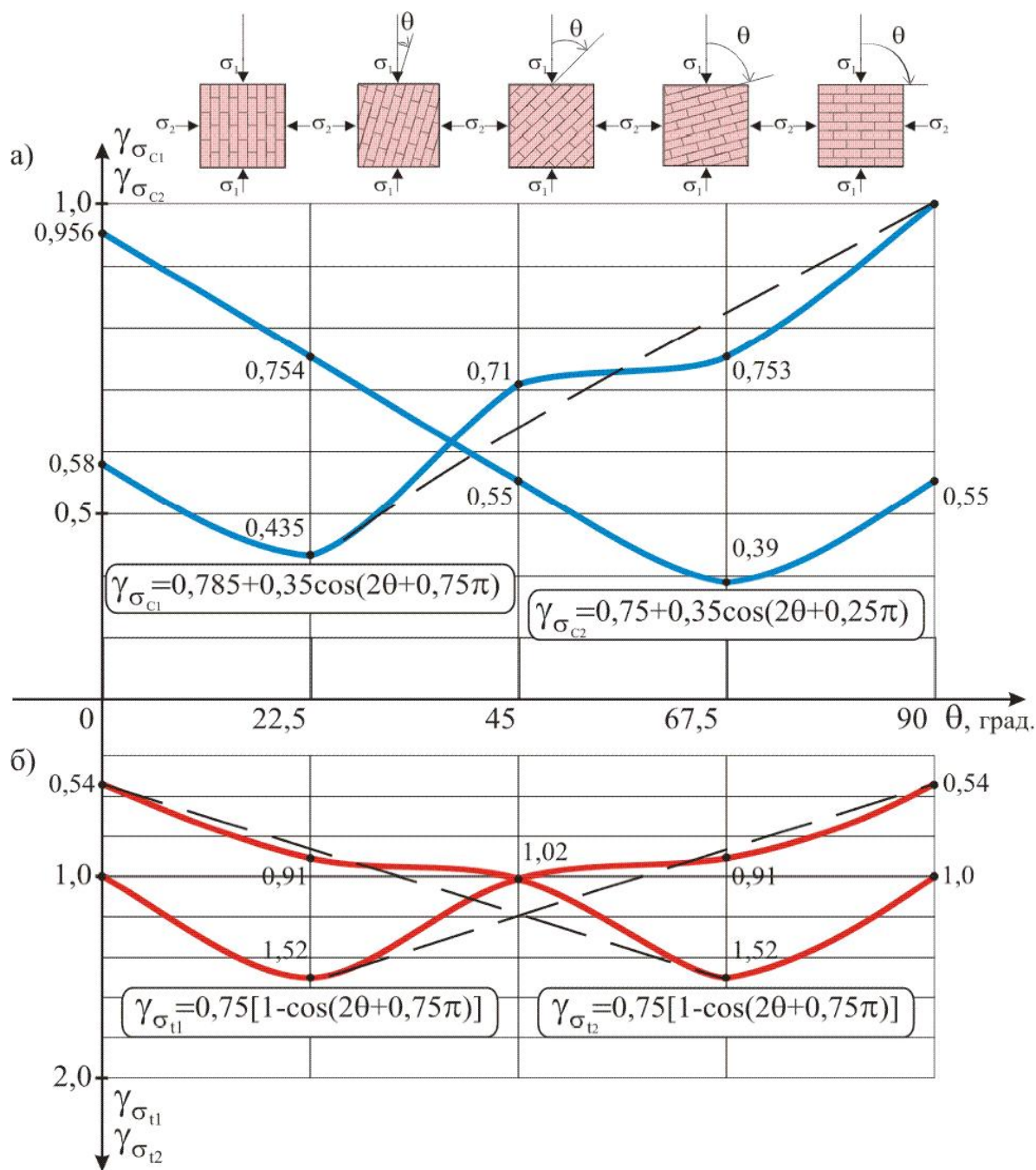


Рис. 2. Модели влияния ориентации горизонтальных швов относительно направления главных напряжений на прочность каменной кладки при сжатии и растяжении

отдельно для прочности каменной кладки сжатой наклонной полосы и для её прочности условно растянутой наклонной полосы.

С целью уменьшения объёма материала приведем окончательные аналитические выражения для аппроксимационных моделей.

В результате аналитическое выражение аппроксимационной модели влияния угла наклона постельных швов к направлению главных сжимающих напряжений на проч-

ность каменной кладки сжатой наклонной полосы можно записать:

$$\gamma_{\sigma_{c1}} = 0.785 + 0.35 \cdot \cos(2 \cdot \theta + 0.75\pi) \quad (2)$$

или в виде:

$$\gamma_{\sigma_{c2}} = 0.75 + 0.35 \cdot \cos(2 \cdot \theta + 0.25\pi) \quad (3)$$

Общий вид модели показан на рис. 1а.

Аналитическое выражение аппроксимационной модели влияния угла наклона по-



стельных швов к направлению главных растягивающих напряжений на прочность кирпичной кладки условно растянутой наклонной полосы можно записать:

$$\gamma_{\sigma_{t1}} = 0,75[1 - \cos \cdot (2 \cdot \theta + 0,75\pi)] \quad (5)$$

или в виде:

$$\gamma_{\sigma_{t1}} = 0,75[1 - \cos \cdot (2 \cdot \theta + 0,25\pi)] \quad (6)$$

Общий вид модели показан на рис. 2б.

Разработанные аналитические модели влияния угла наклона постельных швов на прочностные свойства каменной кладки позволяют учитывать изменение прочности каменной кладки при изменении соотношения вертикальных и горизонтальных сил.

Библиографический список

1. Баранова Т.И., Ласьков Н.Н. Экспериментальные исследования диафрагм жесткости из каменной кладки // Экспресс информация Строительные конструкции. Сер. 8 ВНИИИС Госстроя СССР. Вып. 10. - М., 1987. - С. 10-14.
2. Баранова Т.И., Ласьков Н.Н., Артюшин Д.В. Основы сопротивления стен из каменной кладки совместному действию вертикальных и

горизонтальных сил (деп. рукоп. монографии № 11782). - М.: Госстрой России, ВНИИТПИ, 2000. - 92 с.

3. Баранова Т.И., Ласьков Н.Н., Артюшин Д.В. Сопротивление стен из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил // БСТ №9 - М.: РААСН, 1999. - С. 17-18.

4. Брусенцов Г.Н., Ласьков Н.Н. Экспериментальные исследования диафрагм жесткости из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок // Исследования по строительной механике и надежности конструкций: сб. научн. тр. - М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1986. - С. 196-201.

5. Гениев Г.А. О критерии прочности каменной кладки при плоском напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. - 1979. - № 2.

6. Dhanasekar M., Page A.W., Kleeman P.W. The failure of brick masonry under biaxial stresses // Proc. Inst. Civ. Eng., 1985. Part 2. vol. 79. Pp. 295-313.

7. Hendry A.W. A note on the strength of brickwork in combined racking shear and compression // Proc. Brit. Ceram. Soc. 1978, № 27. Pp. 47-52.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



STRENGTH OF COMPRESSED AND STRETCHED SLOPING STRIPS IN BRICKWORK WALLS WHEN
CHANGING THE ANGLE OF INCLINATION OF BED SEAMS

© 2020 N.N. Laskov*

The results of the analysis of changes in the strength of compressed and stretched sloping strips in walls made of brickwork when changing the orientation angle of bed seams are presented.

Key words: strength, masonry, compressed and stretched, oblique stripes, the angle of orientation of the bed seams.

Received for publication on 03.06.2020

* Laskov Nikolay Nikolaevich - Doctor of Sciences, Associate Professor; Penza State University of Architecture and Construction (Russia, Penza).



ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ*

© 2020 А.Н. Непомнящий, В.Н. Выровой, В.Г. Суханов**

Значительное количество строительных изделий и конструкций претерпевают при эксплуатации циклические односторонние (локальные) воздействия отрицательных температур. Это неизбежно ведет к возникновению и развитию градиентов температурных деформаций по сечению изделия, что провоцирует изменение условий работы материала изделий. В представленной работе приведены сведения о влиянии условий многократного замораживания и оттаивания на изменение физико-механических свойств и морозостойкости строительных композитов. Полученные экспериментальные результаты дают основания заключить, что условия воздействия отрицательных температур на изделия и конструкции в значительной степени влияют на способность материала сопротивляться морозному разрушению.

Ключевые слова: свойства материала, локальное замораживание и оттаивание, структурные изменения.

Существующие методики оценки морозостойкости строительных материалов базируются на предположении, что образцы после увлажнения, подвергаются всестороннему воздействию отрицательных температур. Анализ условий эксплуатации большинства строительных изделий, конструкций (ограждающие конструкции зданий и сооружений различного значения, плотины, облицовки каналов, напорные и безнапорные трубы, ЛЭП и т.п.) показал, что, как правило, внешние климатические нагрузки действуют на них односторонне или локально. Можно предположить, что при таких типах воздействий, поведение материалов в изделиях будет значительно отличаться от их поведения при всестороннем замораживании. Для более объективной оценки морозостойкости, актуальной является задача анализа условий внешнего воздействия отрицательных

температур на изменение физико-механических характеристик растворов и бетонов.

Проведенный анализ основных причин снижения морозостойкости показал, что практически отсутствует научно-техническая информация по влиянию условий замораживания изделий (образцов) на способность материала воспринимать развитие деформации при увеличении объема замерзающей воды без разрушения.

Можно выделить два характерных способа замораживания изделия. Первый способ заключается в замораживании предварительно увлажненного всего образца. Такой метод уже более ста лет используется как базовый нормативный способ количественной оценки морозостойкости строительных материалов различных видов и назначения. Второй способ связан с односторонним воздействием отрицательных темпе-

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Непомнящий Александр Николаевич - ассистент; Выровой Валерий Николаевич - доктор технических наук, профессор; Суханов Владимир Геннадиевич (lottor27@gmail.com) - доктор технических наук, профессор; все - Одесская государственная академия строительства и архитектуры (Украина, Одесса).



ратур. Изменение условий замораживания заметно изменяет формирование фронта промерзания, что ведет к изменению внутреннего тепло- и массо переноса, заземлению или вытеснению газовой составляющей, возникновению и развитию влажностных и температурных деформаций и т.п. Это даёт основание предполагать, что изменение условий замораживания образцов позволит более объективно оценить морозостойкость материалов и разработать адекватные рецептурно-технологические методы повышения их стойкости в зависимости от вида и условий эксплуатации изделия и конструкций.

Цель работы заключалась в оценке условий всестороннего и одностороннего замораживания образцов на изменение физикомеханических характеристик и морозостойкости строительных материалов.

Методика проведения исследования. В качестве объектов изучения и анализа приняты образцы - балочки (40×40×160 мм.) извлеченные из цементно-песчаного раствора (цемент/песок = 1/2 и В/Ц = 0,5). Для образцов из бетона были заформованы образцы-призмы с размерами 100×100×400 мм. Проектная марка бетона В30 при В/Ц-0,48.

Каждый вид образцов разделялся на три группы:

К первой группе (О1) отнесены образцы, которые испытывались в соответствии с ДСТУ Б В 2.7-42-97.

К второй группе (О2) отнесены образцы, которые проходили испытания в условиях одностороннего замораживания-оттаивания.

К третьей группе (О3) отнесены образцы, которые находились в камере нормального твердения с влажностью 95%.

Через каждые пять циклов замораживания-оттаивания контролировали изменение: массы (Δm), водопоглощения (w), скорости прохождения ультразвука (x), коэффициента поврежденности (K_p), прочность на растяжении при изгибе (f_{ctk}), прочность при растяжении (f_{ctn}), прочности при сжатии (f_{ck}), глубины карбонизации (l).

При всестороннем замораживании формируется своеобразный «фронт промерза-

ния», что способствует вытеснению свободной воды в глубинные слои материала. Так как строительные материалы на неорганическом вяжущем представляют в виде капиллярно-пористых сред, то формирование интегрального фронта промерзания связывают с процессами и явлениями, которые происходят в отдельных порах и капиллярах. Гипотезы промерзания почв предложил и анализировал профессор Сумгин М.И. в 30-х годах прошлого века [1, с. 85] при изучении процессов промерзания почв в районах вечной мерзлоты. Он рассматривал модель почвы как своеобразную дисперсную систему, свойства которой зависят от характера и уровня взаимодействий отдельных частиц дисперсной фазы между собой и с дисперсионной средой (почвенная жидкость). При замерзании почвенной жидкости в поровом пространстве такой системы происходит увеличение её объема и всей системы. Таким образом, участок дисперсной системы, которая подвергалась действию отрицательной температуры, увеличивается в объеме, что вызывает передачу части объемных деформаций на ниже лежащие слои системы, вытесняя из них часть свободной почвенной жидкости вглубь и формируя, тем самым фронт промерзания.

Исторически так сложилось, что подобный механизм вытеснения воды был принят как основной при описании процессов, происходящих в отдельном капилляре. На этом базируется гипотезы снижения морозостойкости строительных материалов, и разрабатываются рецептурно-технологические мероприятия по созданию так называемой резервной пористости, для стока воды, вытесняемой при ее замерзании в объеме капилляров. Если принять за основу подобный механизм внутреннего тепло- и массопереноса, то в условиях всестороннего замораживания в глубинных зонах образцов (изделий) будет концентрироваться значительное количество воды образуя «ядро» материала, пересыщенной влагой. При полном промерзании давление, которое возникает при увеличении объема воды должно привести



к разрушению образца (изделия) изнутри. За весь период наблюдения за поведением строительных изделий и конструкций и при изучении морозостойкости на отдельных образцах, не был описан взрывообразный характер разрушения по способу «изнутри - наружу». Как правило, разрушение образцов при всестороннем периодическом замораживании и оттаивании происходит от поверхностных слоёв к глубинным слоям материала. Причиной разрушения могут быть градиенты объемных деформаций в образце при его замораживании и оттаивании, а также комплекс механизмов, происходящих в разновеликих порах и капиллярах с учётом различных коэффициентов термических деформаций отдельных компонентов.

В условиях одностороннего замораживания часть образца (изделия) практически всегда находится в зоне положительных температурах. Поэтому периодическое замораживание оттаивание претерпевает часть материала, находящегося в зоне воздействия отрицательной температуры. В работах [2, с. 79, 3, с. 286, 4, с. 96] показано, что при замерзании воды в капиллярах происходит увеличения их объема, что ведет к их дополнительному насыщению влагой. Это предполагает, что при одностороннем замораживании не должно происходить значительного массопереноса. При снижении температуры до отрицательных значений происходит два разнонаправленных процесса - уменьшение объема твердой составляющей материала с одновременным увеличением объема образца за счёт увеличение объема воды при ее замерзании в порах и капиллярах материала.

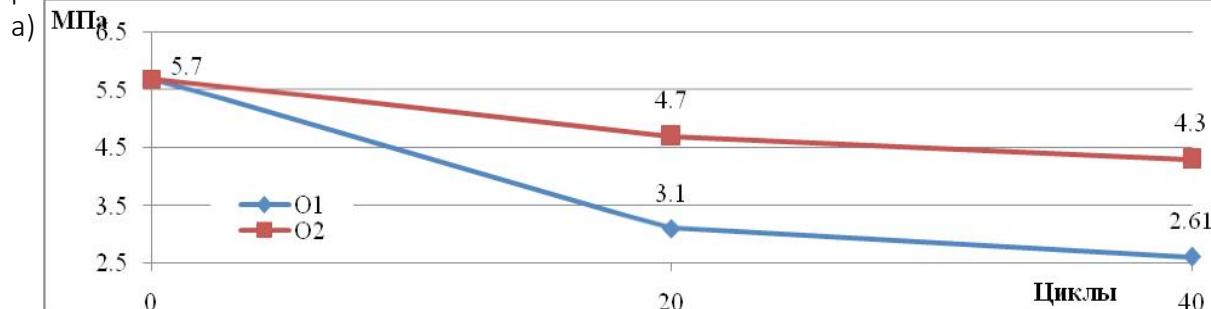


Рис. 1. Влияния условий замораживания на изменение механических характеристик раствора: а - f_{ctk} б - f_{ck} (начало)

Знакопеременные объемные деформации материала, возникающие за счёт периодического изменения температуры и давления льда, ведут к изменению структуры, что в свою очередь, изменяет физико-механические свойства цементного камня и бетона, которые находятся в зонах действия отрицательных температур.

Так водопоглощение с увеличением количества циклов снижается при одностороннем замораживании до 18% при всестороннем до - 25,4%.

Изменение водопоглощения при многократных циклах замораживания свидетельствует об изменении поровой структуры, что косвенно подтверждается увеличением скорости ультразвука при увеличении количества циклов. Подтверждением структурных трансформаций являются результаты по влиянию условий замораживания на изменение глубины карбонизации - при всестороннем замораживании глубина карбонизации более чем в два раза выше по сравнению с глубиной карбонизации образцов, которые подвергались одностороннему замораживанию. Опыты показали, что при увеличении количества циклов увеличивается значение K_p . При этом поврежденность образцов при всестороннем замораживании и оттаивании в среднем на 22% больше по сравнению с поврежденностью образцов одностороннем воздействии отрицательной температуры.

Опыты показали, что прочность образцов цементно-песчаного раствора после 20-ти циклов всестороннего замораживания снизилась в два раза, а при одностороннем воздействии до 17,5%. рис. 1, а, б.

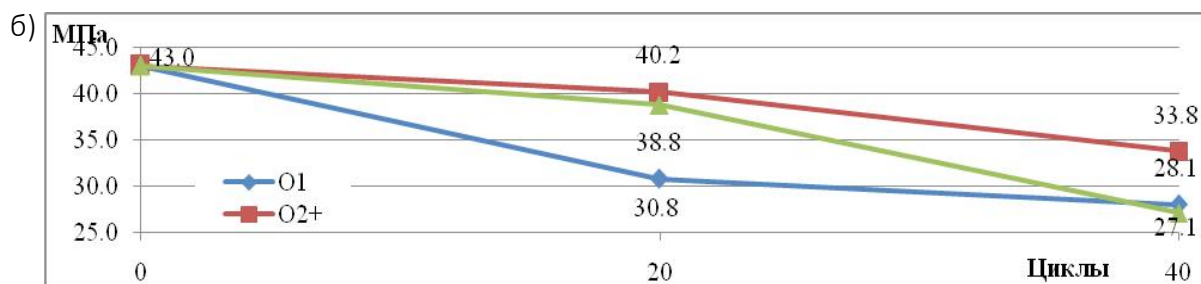


Рис. 1. Влияния условий замораживания на изменение механических характеристик раствора: а - $f_{сж}$ б - $f_{сж}$ (окончание)

Прочность при сжатии при всестороннем замораживании снизилась на 28,4% в то время как при одностороннем на 14%

С увеличением количества циклов сохраняется общая картина влияния условий замораживания на изменение прочностных характеристик.

Аналогичные результаты получены при изучении влияния условий замораживания

на изменение физико-механических свойств бетона рис. 2.

Проведенные исследования показали существенное влияние условий замораживания на изменение физико-механических свойств бетона и цементно-песчаного раствора. Можно предположить, что при одностороннем замораживании создаются более благоприятные ситуации в образцах, спо-

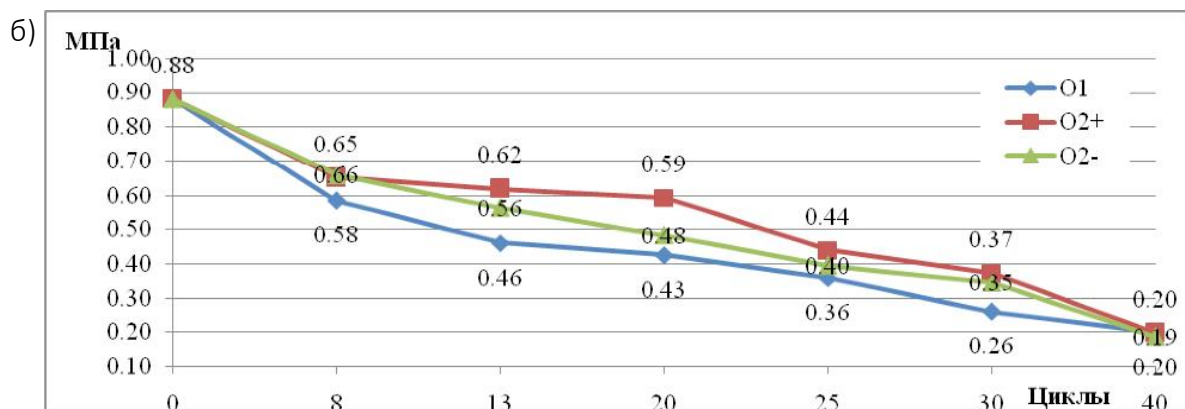
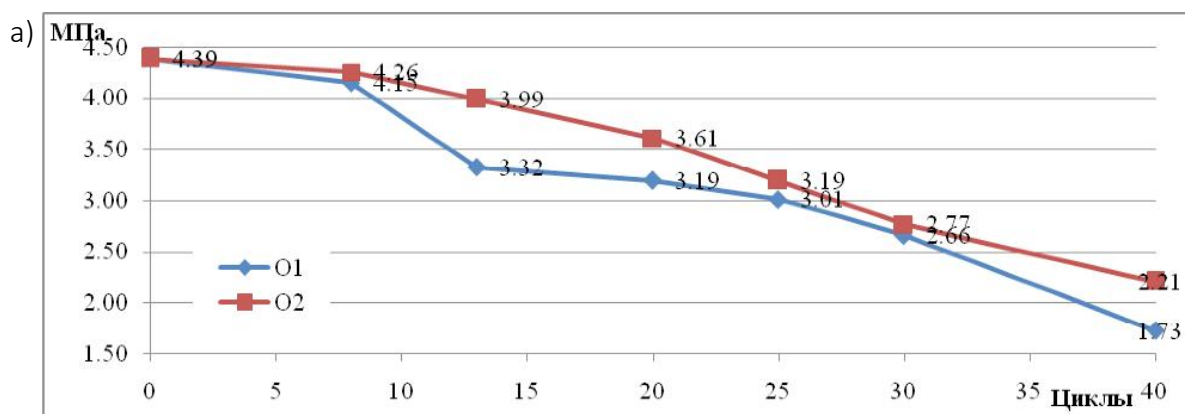


Рис. 2. Влияния условий замораживания на изменение механических характеристик бетона: а - $f_{сж}$, б - $f_{сж}$, в - $f_{сж}$ (начало)

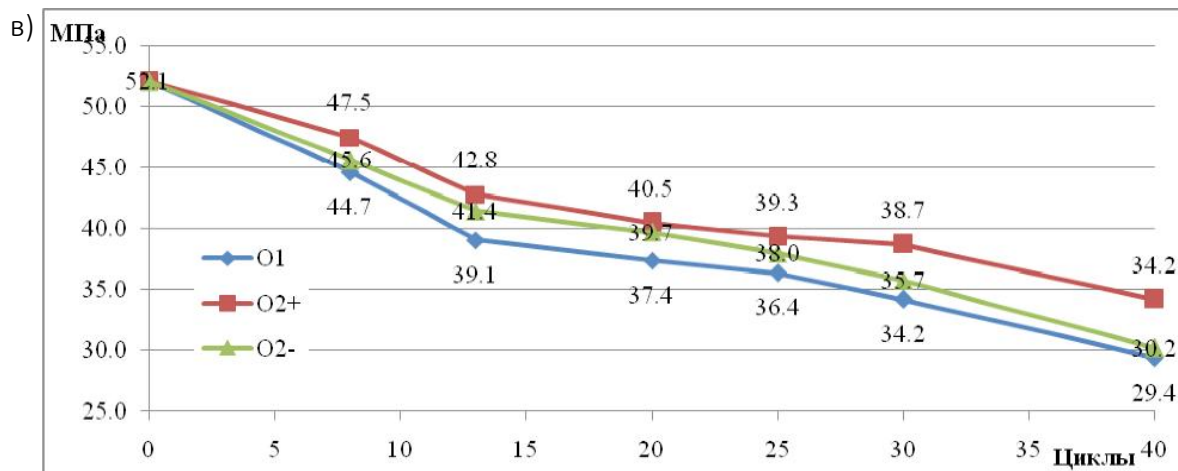


Рис. 2. Влияния условий замораживания на изменение механических характеристик бетона:
а - f_{ctk} , б - f_{ctn} , в - f_{ck} (окончание)

способные релаксировать часть опасных деформаций возникающих при замерзании воды в поровом объеме материала.

Анализ экспериментальных результатов показал, что с увеличением количества циклов в образцах из раствора и бетона, происходят структурные изменения, которые зависят от условий их замораживания. Об этом свидетельствуют изменение массы, водопоглощения, скорости прохождения ультразвука, коэффициентов поврежденности и глубины карбонизации, прочностных характеристик.

Выводы. Проведенные исследования показали, изменение физико-механических характеристик и морозостойкости строительных материалов зависит от условий воздействия отрицательных температур.

При одностороннем замораживании изменение массы, глубины карбонизации, коэффициентов поврежденности и физико-механических характеристик происходит менее интенсивно по сравнению с всесторонним воздействием отрицательных температур.

Полученные экспериментальные результаты дают основание заключить, что условия

воздействия отрицательных температур на изделия и конструкции играют существенную роль на их способности сопротивляться морозному разрушению. Для раскрытия причин обнаруженного феномена разработаны программы дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР: монография - Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР, 1927. - 372 с.
2. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции, структура, самоорганизация свойства: монография / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. - Одесса: «ТЕС», 2010. - 166 с.
3. Хоменко А.А. Развитие градиентов влажностных деформаций в неравномерно увлажненных конструкциях / А.А. Хоменко, П.С. Рогожа, Т.В. Остра // Вісник ОДАБА. - 2014. - №55. - С. 286-293.
4. Выровой В.Н. Анализ механизма развития трещин при замерзании в их объеме воды. / В.Н. Выровой, Н.О. Закорчемная, Ю.О. Закорчемный // Вісник ДонНАБА. С учасні будівельн і матеріали. Композиційн і матеріали для будівництва. - 2007. - №63. - С.96-100.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



**FREEZING CONDITIONS IMPACT ON THE FREEZING RESISTANCE
OF CONSTRUCTION COMPOSITES**

© 2020 A.N. Nepomyashchy, V.N. Vyrovoy, V.G. Sukhanov*

A significant number of building products and structures undergo cyclic unilateral (local) effects of negative temperatures during operation. This inevitably leads to the emergence and development of temperature strain gradients over the product cross section, which provokes a change in the working conditions of the product material. In the present work, information is presented on the influence of repeated freezing and thawing conditions on the change in the physicomaterial properties and frost resistance of building composites. The obtained experimental results suggest that the conditions of exposure to negative temperatures on products and structures significantly affect the ability of the material to resist frost damage.

Keywords: material properties, local freezing and thawing, structural changes.

Received for publication on 03.06.2020

* Nepomyashchy Alexander Nikolaevich - assistant; Vyrovoy Valery Nikolaevich - Doctor of Sciences, Professor; Sukhanov Vladimir Gennadievich - Doctor of Sciences, Professor; all - Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine).



ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В КРУПНОПОРИСТОМ БЕТОНЕ С ИНТЕГРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ*

© 2020 А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков,
О.Е. Смирнова, Е.Г. Пименов**

При решении задачи получения и исследования легких крупнопористых бетонов на основе топливных шлаков и керамзитового гравия были изучены физико-механические свойства нового материала и подтверждена возможность их использования в качестве крупного заполнителя. Разработаны рациональные составы материала и защитной композиции для гранул шлака, способствующие обеспечить повышение прочностных параметров. Дальнейшее изучение свойства потребовало провести комплекс исследований по эксплуатационной стойкости крупнопористого легкого бетона под нагрузкой и определить максимально допустимые напряжения в материале до образования трещин. Проведенные испытания показали, что наиболее уязвимым местом в крупнопористом легком бетоне является контактная зона между крупным заполнителем и цементной матрицей.

Ключевые слова: легкий крупнопористый бетон, гранулы шлака, керамзитовый гравий, трещинообразование, контактная зона крупного заполнителя, цементная матрица.

Важной прочностной характеристикой легкого крупнопористого бетона является предел прочности при изгибе, который определяется свойствами поверхности крупного заполнителя и адгезионными свойствами цементного вяжущего. Известно, что повышению прочности контактной зоны крупного заполнителя с цементным камнем способствует целый ряд различных рецептурных и технологических факторов: количество цементного теста, приходящегося на единицу площади гранул минерального заполнителя; прочность самих гранул крупного заполнителя; степень и способ уплотнения легкобе-

тонной смеси; наличие примесей и пылеватых частиц на поверхности крупного заполнителя; условия твердения бетона и др.

Ранее авторами была разработана рецептура и технология производства легкого крупнопористого бетона с интегральной пористой структурой, получаемой путем изменения диаметра крупного заполнителя в слоях бетонного массива.

В качестве заполнителя были использованы гранулы шлака и керамзита. Изделия из крупнопористого бетона на шлакокерамзитовых заполнителях в виде блоков с многослойной структурой имеют изменяемую

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Пичугин Анатолий Петрович (gmunsau@mail.ru) - доктор технических наук, профессор; Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, РФ); Хританков Владимир Федорович - доктор технических наук, профессор; Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, РФ); Смирнова Ольга Евгеньевна - кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет; Новосибирск, РФ); Пименов Евгений Геннадьевич - инженер, Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, РФ).

пористость слоев от максимальной в наружном слое до минимальной в центре. Исходя из рекомендаций по технологии крупнопористого бетона, крупный пористый заполнитель следует применять в виде дозируемых фракций 5-10, 10-20 и 20-40 мм. Слой бетона на заполнителе фракции 20-40 мм отличается минимальной плотностью, поэтому размещается в центре блока. Изменение общей пористости слоев крупнопористого бетона, включающей в себя как микропористость крупного заполнителя, так и пустотность между зернами заполнителя, от минимальной у поверхности изделия к максимальной в центре и обратно, обеспечивает плавное изменение теплофизических характеристик материала по всей толщине изделия. Наружный слой легкобетонного блока на заполнителе фракции 5-10 мм характеризуется средней плотностью 810-840 кг/м³, пределом прочности при сжатии 7,7 МПа, морозостойкостью F50. Плотная структура наружного слоя необходима для защиты материала от внешних воздействий, а также, при необходимости, для обеспечения надежной анкеровки крепежных элементов (рис. 1) [1-3].

Испытание крупнопористых легкобетонных образцов на изгиб показало, что в бето-

нах на керамзитовом гравии разрушения преимущественно происходят по цементному камню; в бетонах на шлаковом заполнителе - по цементному камню и гранулам шлака. В то же время при использовании комбинированных крупных заполнителей: керамзита и предварительно обработанного топливного шлака отмечены, как правило, разрушения по цементному камню. В силу большой впитывающей способности шлакового заполнителя происходит обезвоживание и снижение гидратационной активности цемента в условиях дефицита влаги, что приводит к уменьшению прочности. Поэтому было предложено, наряду с обработкой шлакового заполнителя полимерсиликатной композицией производить микроармирование цементной матрицы хризотилцементными отходами для снижения усадочных напряжений и повышения прочности при изгибе. На рисунке 2 представлены кривые зависимости прочностных показателей легкого крупнопористого бетона от количества добавки хризотилцементных отходов (% мас. цемента) для различных фракций крупного комбинированного заполнителя.

Анализ зависимостей прочности крупнопористого бетона на заполнителе различных фракций от количества хризотилцементной

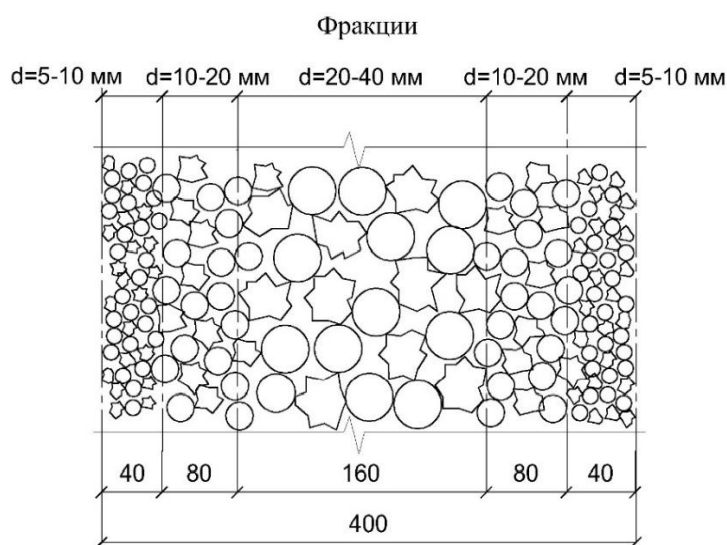


Рис. 1. Структурная схема стенового блока из крупнопористого легкого бетона на шлакокерамзитовых заполнителях с изменяемой пористостью



Рис. 2. Влияние добавки хризотилцементных отходов на прочность при изгибе крупнопористых бетонов на заполнителях разных фракций

добавки (рис. 2) показывает, что увеличение добавки до 12 % мас. приводит к увеличению прочности при изгибе крупнопористого бетона, после чего наступает снижение прочности. Установлен эффект повышения прочности при изгибе крупнопористого бетона в 1,5-2 раза при предварительной обработке шлаковых гранул пленкообразующей полимерсиликатной композицией за счет введения в исходную смесь добавки отходов хризотилцементного производства, обеспечивающих микроармирование цементного камня.

Определен модуль упругости легкого крупнопористого бетона и показано, что он напрямую зависит от гранулометрического состава материала. Это вполне коррелирует с показателями предела прочности при сжатии и изгибе. Так, для крупных фракций заполнителя он имеет пониженные значения. Следует так же заметить, что составы на комбинированных минеральных заполнителях имеют повышенные значения модуля упругости по сравнению с легким бетоном на монозаполнителе из керамзитового гравия (рис. 3) [2-4].

Для испытания крупнопористого легкого бетона на шлакокерамзитовом крупном заполнителе готовились различные партии

образцов кубов и образцов призм, которые подвергались нагрузке до разрушения. При этом фиксировались деформации образцов и образование трещин. Далее по существующим методикам осуществлялся расчет предельных напряжений и деформаций [3-5].

Разрушение крупнопористого легкого бетона в основном происходит по местам

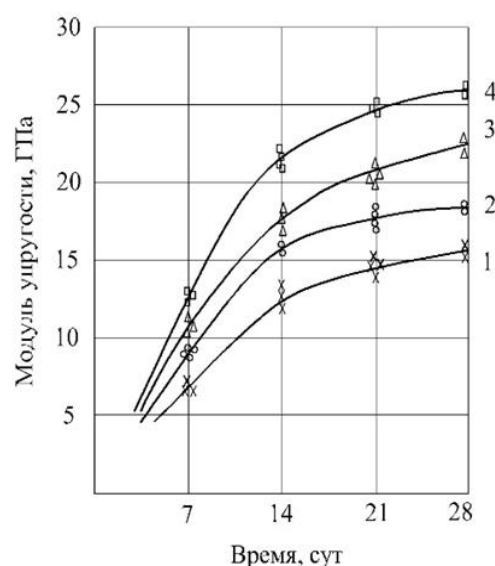


Рис. 3. Зависимость модуля упругости лёгких крупнопористых бетонов от фракции и вида заполнителя (керамзит+шлак):
1 - фракция 20-40 мм (керамзит без шлака);
2- фракция 20-40 мм; 3 - фракция 10-20 мм;
4- фракция 5-10 мм

вблизи контактов цементного раствора со шлаковым заполнителем по пористому заполнителю, что объясняется повышенной прочностью цементного камня по сравнению с пористым шлаком. Развитие трещин, находящихся в структуре заполнителя, до определенного момента тормозится цементной матрицей, поэтому они имеют различные очертания, зависящие от степени проникновения цементного теста в структуру пористого заполнителя. На рис. 4 показана схема расположения трещин в крупнопористом легком бетоне на шлакокерамзитовом заполнителе различных фракций. Установлено, что наиболее подверженным к трещинообразованию являются крупнофракционные части блока, что объясняется малым количеством точек соприкосновения (связок) контактов гранул и, как следствие, низким содержанием цементного теста и цементного камня в бетоне.

Для мелких фракций бетона отмечена повышенная плотность при большем расходе цемента и повышенные прочностные показатели до трещинообразования. В тоже время, при испытании всего массива блока прочностные параметры на 35-50% выше, чем для однородного легкого бетона на крупных гранулах.

При введении отходов хризотилцемент в цементное тесто увеличивается не толь-

ко прочность самой цементной матрицы. Но и существенно повышаются показатели прочности при изгибе всего материала за счет микроармирования. Отмечен также эффект упрочнения шлаковых гранул при предварительной обработке пленкообразующей полимерсиликатной композицией и введении в исходную смесь хризотилцементных отходов, что способствует упрочнению шлаковой оболочки. Эффект достигается за счет микроармирования цементного камня, дополнительного образования и кристаллизации продуктов гидратации портландцемента на волокнах хризотила, что подтверждается увеличением микротвердости контактных зон на 20-25%. Поэтому такая структура шлакового заполнителя обеспечивает прочность всего изделия, близкую к значению прочности его наружного слоя, при наличии в нем слоев меньшей прочности и плотности.

Разработанные конструкционно-теплоизоляционные изделия для ограждающих конструкций - стеновые многослойные блоки из легкого крупнопористого бетона на основе комбинированного заполнителя (керамзит и предварительно обработанный топливный шлак) с изменением структурной пористости по толщине массива обладают повышенными теплоизоляционными и звукопоглощающими свойствами и могут быть рекомендованы в строительную практику в качестве стеновых изделий.

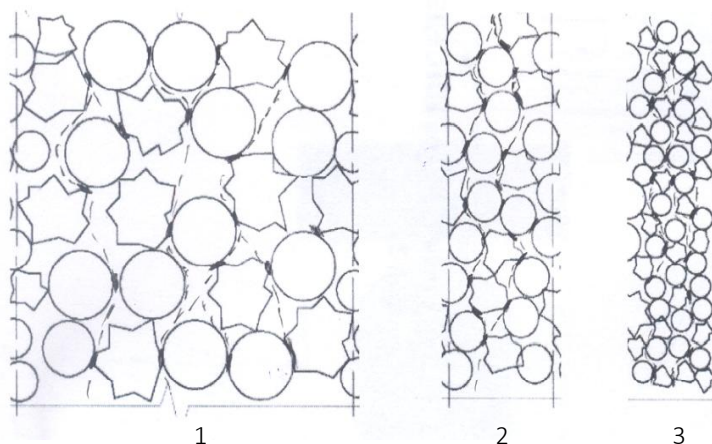


Рис. 4. Схема прохождения трещин в местах контакта гранул в легком Крупнопористом бетоне с изменяемым расположением крупного заполнителя:

1 - бетон на гранулах $d = 20-40$ мм; 2 - бетон на гранулах $d = 10-20$ мм; 3 - бетон на гранулах $d = 5-10$ мм



Библиографический список

1. Пименов Е.Г. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов / Е.Г. Пименов, А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.С. Денисов // Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 10-11. - С.22-31.
2. Пичугин А.П. Роль микроармирования в обеспечении эксплуатационных характеристик крупнопористого легкого бетона / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков, Е.Г. Пименов // Известия вузов. Строительство. - 2016. - № 12. - С.5-15.
3. Пичугин А.П. Технологические возможности использования отходов теплоэнергетики в сельском строительстве / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.Ю. Кудряшов, Е.Г. Пименов // Инновации и продовольственная безопасность. - 2017. - №4. - С.45-53.
4. Патент № 2661168 Российской Федерации. С04В 18/141; С04В 20/10; С04В 20/1085; С04В 20/12 Способ подготовки шлакового заполнителя для легкого бетона / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.Ю. Кудряшов, Е.Г. Пименов. Опубл. 12.07.2018. Бюл. №20.
5. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. - М. Высш. шк., 1991. - 288 с.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



CRACK FORMATION IN LARGE-POROUS CONCRETE WITH AN INTEGRAL
ARRANGEMENT OF A LARGE FILLER

© 2020 A.P. Pichugin, V.F. Khritankov,
O.E. Smirnova, E.G. Pimenov*

The physio-mechanical properties of the new material have been studied during the receiving and re-search process of large-porous light concrete on the basis of slag granules and expanded clay gravel. The possibility of using them as a large filler has been confirmed. Rational compositions of material and protective composition for slag granules were developed. This could increase strength parameters. Further examination of the characteristic required a complex of studies on the operational stability of large-porous light concrete that was under pressure as well as the determination of the maximum acceptable stress in the material before the crack formation. Tests have shown that the most vulnerable place in large-porous light concrete is the contact zone between the large filling substance and the cement matrix.

Keywords: large-porous light concrete, slag granules, expanded clay gravel, crack formation, contact zone of a large filler, cement matrix.

Received for publication on 03.06.2020

* Pichugin Anatoly Petrovich - Doctor of Sciences, Professor, Novosibirsk state agrarian University (Novosibirsk, Russia); Khritankov Vladimir Fedorovich - Doctor of Sciences, Professor; Novosibirsk state agrarian University (Novosibirsk, Russia); Smirnova Olga Evgenievna - Candidate of Technical, Associate Professor, Novosibirsk state University of architecture and civil engineering (Novosibirsk, Russia); Pimenov Evgeny Gennadievich - engineer, Novosibirsk state University Agrarian University (Novosibirsk, Russia).



ФРАКТАЛЬНАЯ ПРИРОДА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА*

© 2020 В.П. Селяев, П.В. Селяев,
А.О. Горенков, Е.С. Безрукова, Е.Л. Кечуткина**

В предлагаемой статье рассматривается возможность описания масштабного эффекта на основе фрактальной геометрии Б. Мандельброта. Основываясь на гипотезе о масштабной инвариантности структуры разработана фрактальная модель, согласно которой прочность материала зависит от размера дефектов, масштабного фактора и фрактальной размерности. Предложен новый способ определения фрактальной размерности, как характеристики однородности, внутреннего порядка структуры материала.

Приведены данные анализа экспериментальных данных, опубликованных в научной литературе, которые подтверждают адекватность модели.

Ключевые слова: фрактал, модель, бетон, разрушение, фрактальная размерность, прочность, структура, дефект.

Прочность бетона обычно определяют в лабораторных условиях на образцах малых размеров по сравнению с действительными конструкциями. Эти данные используют для определения расчетных и нормативных сопротивлений бетона, для расчета элементов зданий и сооружений.

Однако экспериментально установлено, что существует расхождение прочностных свойств, определенных для конкретных конструкций и путем испытания стандартных образцов. Это явление объяснили масштабным эффектом. Очевидно, что проявление масштабного эффекта влияет на надежность, долговечность строительных конструкций и его необходимо учитывать в процессе расчета и конструирования зданий и сооружений. Для этого необходимо объяснить физи-

ческую сущность этого явления и предложить аналитические методы, позволяющие учитывать масштабный эффект при проектировании строительных конструкций.

В соответствии с законом подобия, установленным В. Кирпичевым, геометрически подобные тела из одинакового материала, изготовленные и испытанные в одинаковых условиях, должны иметь одинаковую прочность [2-3]. Однако многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что прочность геометрически подобных образцов может зависеть от их размеров. Это явление названо масштабным эффектом [4-11].

Природу масштабного эффекта объясняют прежде всего наличием дефектов в объеме и на поверхности твердых тел. А.Ф. Иоф-

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Селяев Владимир Павлович (ntorm80@mail.ru) - академик РААСН, доктор технических наук, профессор; Селяев Павел Владимирович (ntorm80@mail.ru) - кандидат технических наук; Горенков Александр Олегович (alexandr.gorenkov@yandex.ru) - аспирант кафедры строительных конструкций; Безрукова Евгения Сергеевна (eugenia.bezr@gmail.com) - аспирант; Кечуткина Евгения Львовна (kechutkina85@mail.ru) - инженер; все - Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (Саранск, РФ).



фе, А.П. Александров, С.Н. Журков объясняют природу масштабного эффекта наличием дефектов, которые провоцируют склонность материала к хрупкому разрушению. И.А. Одинг считает, что проявление масштабного эффекта зависит от технологии изготовления образцов различных размеров. Статистическая природа масштабного эффекта, основанная на модели слабого звена, рассматривается в работах W.A. Weibull, В.В. Болотина [7, 11]. Г.П. Черепанов объясняет наличие масштабного эффекта размерами и количеством структурных элементов, образующих объем образца. М.И. Кайфман предложил различать масштабные эффекты двух видов: объемный, связан со структурной неоднородностью в объеме; поверхностный, связан с качеством обработки поверхности.

Предложено несколько аналитических функций, описывающих зависимость прочности R от масштабного размера (объема - V , диаметра - d).

В. Вейбулл предложил в 1939г. функцию вида:

$$R = \sigma_0 + \sigma_s \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (1)$$

где σ_0 - constматериала (минимальная прочность); σ_s - constнапряженного состояния; α - характеристика степени однородности материала.

В.В. Болотин развил модель В. Вейбулла и предложил функцию вида:

$$R_{\epsilon\alpha} = R_{\epsilon\alpha 0} \left[\alpha + 6 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right], \quad (2)$$

где $R_{\epsilon\alpha}$, $R_{\epsilon\alpha 0}$ - прочность образца объемом V и стандартного V_0 ; - эмпирические коэффициенты.

А.П. Александров и С.Н. Журков для прочности волокон диаметром d предложили функцию вида:

$$R = a + \frac{6}{d}. \quad (3)$$

Т.А. Конторова, Я.И. Френкель предложили для образцов:

$$\diamond \text{малого размера } R = a + \frac{6}{V}; \quad (4)$$

$$\diamond \text{большого размера } R = R_0 - \sqrt{A \epsilon g V - B}. \quad (5)$$

М.М. Протоdjяконов для описания масштабного эффекта горных пород предложил функцию:

$$R = \frac{R_m(d + m6)}{d + 6}, \quad (6)$$

где R_m - прочность трещиноватого массива; $d, 6$ - эмпирические коэффициенты; m - коэффициент трещиноватости; d - диаметр образца.

Недостатком приведенных функций является то, что они получены из анализа моделей, не отражающих структурные и механические особенности строения и свойств материала.

Современные представления о принципах строения структуры сложных систем, основанные на аксиомах фрактальной геометрии природы, дают возможность описать масштабный эффект с учетом объективных детерминированных показателей свойств материала.

Б. Мандельброт в основу фрактальной геометрии природы заложил две аксиомы - о многомасштабности строения структуры сложных систем и о подобии структур на каждом масштабном уровне. Объективной оценкой подобия структур является фрактальная размерность D . Основной закон Мандельброта записывается в виде функции:

$$L_i = L_0 \chi^{d-D}, \quad (7)$$

где L_i - характеристика структуры на i -ом масштабном уровне; L_0 - значение характеристики в Евклидовой системе; d - размерность в Евклидовом пространстве; D - фрактальная размерность.

Представим структуру бетона в виде фрактальной системы из структурных элементов, в каждом из которых содержится дефект - трещина длиной ℓ_i . Разрушение структурного элемента происходит при растяжении (1) и при сжатии (2) при выполнении условий соответственно:

$$1) \ell_1 = \ell_0; \alpha = [90]^\circ; 0;$$

$$2) \ell_2 = \ell_0; \alpha = [45]^\circ; 0,$$

где ℓ_0 - длина трещины разрушения, которая зависит от технологии изготовления бе-



тона, крупности заполнителя, условий хранения и эксплуатации изделия; α - угол между осью трещины и силовыми линиями.

Учитывая, что трещина формируется в композите с фрактальной структурой, l_0 её длина будет равна.

$$l_0(\alpha) = l_0 \alpha^{d-D}, \quad (8)$$

где α - масштабный уровень структуры.

Тогда из анализа фрактальной модели Гриффитса [12] получим:

$$R_{\epsilon i \alpha} = \frac{k_{1i}}{\sqrt{0,5\pi l_{0i}}} \alpha_i^{(1-D)}, \quad (9)$$

$$R_{\epsilon i \alpha} = \frac{4k_{2i}}{\sqrt{(0,5\pi l_{0i})(1-\gamma)}} \alpha_i^{(1-D)}, \quad (10)$$

где k_{1i}, k_{2i} - коэффициенты интенсивности напряжений при растяжении (1), сдвиге (2) бетона на i -ом масштабном уровне $d=1$.

Предполагаем, что на стандартном масштабном уровне α_0 прочность при растяжении и сжатии определяются соответствующими функциями:

$$R_{\epsilon i 0} = \frac{k_{1i}}{\sqrt{0,5\pi l_{0i}}}; R_{\sigma i 0} = \frac{4k_{2i}}{\sqrt{(0,5\pi l_{0i})(1-\gamma)}}. \quad (11)$$

Масштабный уровень α_i представим от-

ношением $\alpha = \frac{V_i}{V_0}$, где V_i, V_0 - геометрические характеристики i -ого и стандартного $i=0$ масштабного уровня. Тогда зависимость прочности от масштабного фактора будем выражать функциям вида:

$$R_{\epsilon i \alpha} = R_{\epsilon i 0} \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0,5(1-D)};$$

$$R_{\sigma i \alpha} = R_{\sigma i 0} \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0,5(1-D)}. \quad (12)$$

Полученные формулы дают возможность оценить прочность бетона при растяжении и сжатии на каждом i -ом масштабном уровне с учетом: размеров характерного дефекта (длины трещины l_{0i}); структуры (образца); параметра структурной неоднородности (фрактальная размерность D); геометрических масштабных характеристик образцов (объем - V ; диаметр - d ; длина - L).

Если принять в качестве стандартного образца кубик с размером ребра $L = 15$ см и фрактальную размерность $D=1,5$ (по результатам экспериментальных исследований), то прочность на сжатие при условии $V_0 = L = 15$; $V_i = L_i$ будет определяться по формуле:

$$R_{\sigma i \alpha} = R_{\sigma i 0} \cdot 1,97 L_i^{-0,25}; R_{\sigma i 0} = R_{\sigma}(15). \quad (13)$$

Если принять $L_0 = 10$ см, то имеем

$$R_{\sigma i \alpha} = R_{\sigma}(10) \cdot 1,75 \cdot L_i^{-0,25}. \quad (14)$$

Результаты определения прочности кубов из цементных композитов в зависимости от размера ребра приведены в таблице. Прочность на сжатие определялась по формулам (2), (13), (14).

В.В. Болотиным приведены результаты анализа экспериментальных данных, полученных Эмпергером, Бухгарцем, Гувером, Г.Д. Цискрелы [11] и определены значения коэффициентов $\alpha = 0,58, \beta = 0,42$ в уравнении (2). На рисунке 1 и в таблице 1 приведены значения относительной прочности, полученные по этой формуле. Сравнение ре-

Изменение прочности $\frac{R_{bi\alpha}}{R_{bi0}}$ кубов из цементных композитов
в зависимости от размеров ребра (масштабного эффекта)

N п/п	$\frac{R_{bi\alpha}}{R_{bi0}}$ Вид и номер формулы	Размеры куба, см							
		0,001	0,01	0,1	1,0	10	15	20	40
1	$1,97 L_i^{-0,25}$ (13)	11,1	6,23	3,5	1,97	1,1	1,0	0,93	0,788
2	$1,75 L_i^{-0,25}$ (14)	10,0	5,6	3,16	1,77	1,0	0,89	0,84	0,7
3	$0,58 + 0,42 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{3}}$ (2)	8,98	4,68	2,48	1,48	1,0	0,86	0,79	0,685
4	$1,97 L_i^{-0,5}$	650	19,7	6,15	1,97	0,62	0,51	0,44	0,3

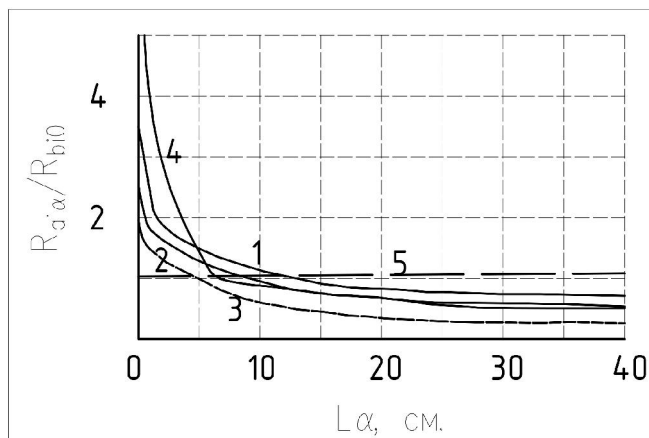


Рис. 1. Зависимость прочности от размеров куба:

1 - по формуле (13); 2 - по формуле (14); 3 - по формуле (2);
4 - по формуле (12) при $D=2, V_0 = L_0 = 15$ см; 5 - по формуле (12) при $D=1$

зультатов вычислений прочности по формулам (2), (13), (14) показывает, что они хорошо совпадают в диапазоне изменения ребра кубика от 10 до 40 см.

В формулах (12) однородность структуры материала оценивается фрактальной размерностью, значения которой зависят от принятой модели - линейной, плоской, объемной; от однородности структуры материала.

В предложенной модели, если $D = 1$, то структура материала однородна и прочность не зависит от масштабного фактора, если $D=2$, то масштабный фактор проявляется более сильно (см. рис.1, строка 4).

В работе Г.Ф. Бабнюк, В.Ф. Пунтус [13] приведены экспериментальные данные о проявлении масштабного эффекта при оценке прочности модельных материалов, кото-

рые представляют собой цементные композиты с наполнителем из горелой земли, песка и гипса. Были испытаны образцы в виде призмы, цилиндров, кубов различных размеров и предложена аппроксимирующая функция вида:

$$y = a \frac{x + 6}{x - c}. \quad (15)$$

Результаты эксперимента (рис. 2), полученные в работе [13], были обработаны с применением аппроксимирующих функций (12) и (15). Установлено: результаты эксперимента, представленные в двойных логарифмических координатах, хорошо ложатся на прямую (см. рис. 3) при фрактальной размерности $D=1,4$; фрактальную размерность можно определить по формуле

$$D = \frac{\Delta \log(R_i/R_0)}{\Delta \log(L_i/L_0)}; \text{ аппроксимиру-}$$

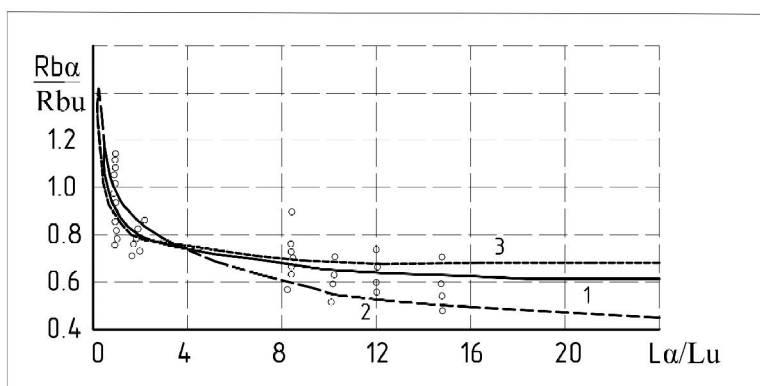


Рис. 2. Изменение прочности от масштабного эффекта:

1 - экспериментальные данные (13), 2 - по формуле (12), 3 - по формуле (15)

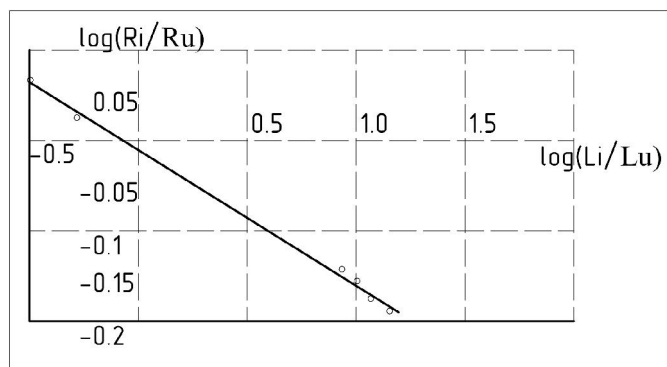


Рис. 3. Линеаризация экспериментальных данных в двойных логарифмических координатах в соответствии с функцией (12)

ющая функция (12) достаточно точно описывает экспериментальные данные; функция (15) предполагает наличие затухающего характера падения прочности с увеличением размеров образцов, что не всегда подтверждается экспериментальными данными [14].

В работе Ильницкой Е.И. [14] приведены результаты испытаний образцов горных пород: габбро, мрамора, туфа. Были испытаны образцы: цилиндры с различной площадью поперечного сечения, высота кото-

рых принималась равной $h = 2\sqrt{F}$. Результаты эксперимента приведены на рис. 4. Обработка результатов эксперимента в двойных логарифмических координатах (см. рис. 5) позволила определить фрактальную размерность, характеризующую структуру габбро, мрамора, туфа, которая равна соответственно 1,24, 1,25, 1,6.

Так как фрактальная размерность является характеристикой беспорядка (неоднородностей) в структуре материала и меня-

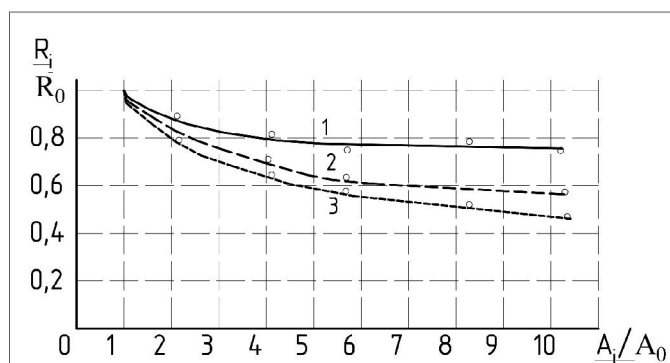


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии: габбро (1), мрамор (2), туф (3) с учетом изменения площади поперечного сечения образцов

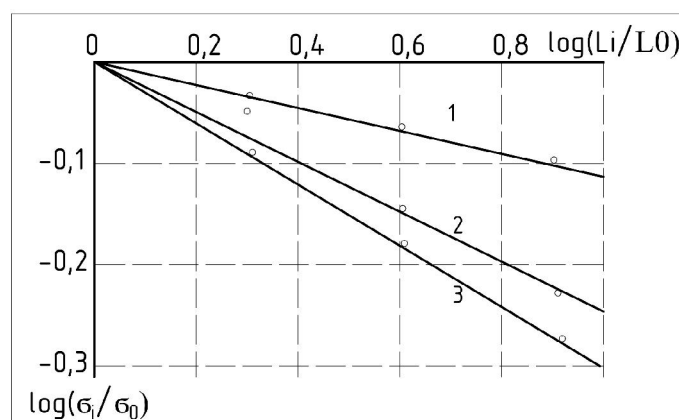


Рис. 5. Линеаризация графиков на рис. 4: габбро (1), мрамор (2), туф (3)



ется в пределах $1 < D < 2$, то можно заключить, что наиболее однородную структуру имеют образцы из габбро, наиболее дефектная структура у туфа.

Применяя функции (12) с учетом соответствующих значений D произведено сопоставление экспериментальных и расчетных данных изменения прочности горных пород с увеличением площади поперечного сечения, которое показало хорошую сходимость.

Вывод.

Показана возможность объяснения масштабного эффекта на основе фрактальной геометрии Б. Мандельброта. Показано, что физическая сущность масштабного эффекта заключается в масштабной инвариантности строения структуры на каждом масштабном уровне структуры бетона, следовательно, подобны и свойства. Экспериментальные данные, опубликованные в научной литературе, подтверждают адекватность предложенной модели не только для бетона, но и для горных пород. Предложен новый способ определения фрактальной размерности, основанный на экспериментальных данных испытаний образцов различных размеров.

Библиографический список

1. Кирпичев В.П. О подобии при упругих явлениях. // Записки Русского технического общества. - 1876. - №3. - С. 162-165.
2. Давыденков Н.Н. Некоторые проблемы механики материалов. - М.: Газетно-журнальное издательство, 1943. - 312 с.

3. Bamschinger J. Mitt.Mech-Techn. Laboratorium D.Tech. Schule. - Munchen, 1884. 150 p.

4. Кайфман М.И. Главный масштабный эффект в горных породах и углях. // Проблема механизации горных работ. - М.: Изд-во АН СССР. 1963. - С. 39-56.

5. Иоффе А.Ф. Деформация и прочность кристаллов / А.Ф. Иоффе, М.В. Кирпичев, А.И. Левитская // Журнал русского физико-химического общества. - 1924. - №2. - С. 286-293.

6. Александров А.П. Явление хрупкого разрыва / А.П. Александров, С.Н. Журков. - М.: ГТИИ, 1933. - 51 с.

7. Weibull W.A.A. Statistical theory of strength of materials // Ing. Vetenskapsakad. Hand. 1939. №151. P. 55-62.

8. Одинг И.А. Допустимые напряжения в машиностроении и циклическая прочность материалов. - М.: Машгиз., 1947. - 184 с.

9. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974. - 640 с.

10. Протодяконов М.М. Трещиноватость и прочность горных пород в массиве / М.М. Протодяконов, С.Е. Чирков. - М.: Наука, 1964 г. - 69 с.

11. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. - М.: Наука, 1961. - 202 с.

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

13. Шашенко А.Н. Масштабный эффект в горных породах / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвигова, С.В. Крушель - Донецк: Норд-Пресс, 2004. - 126 с.

14. Ильницкая Е.И. Влияние масштабного фактора на прочностные свойства горных пород. - М.: Изд-во АН СССР, 1972.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



FRACTAL NATURE OF THE CONCRETE STRENGTH LARGE-SCALE EFFECT

© 2020 V.P. Selyaev, P.V. Selyaev,
A.O. Gorenkov, E.S. Bezrukova, E.L. Kechutkina*

This article discusses the possibility of describing a large-scale effect based on B. Mandelbrots fractal geometry. Based on the hypothesis of scale invariance of the structure, a fractal model has been developed, according to which the strength of the material depends on the size of the defects, scale factor, and fractal dimension. A new method is proposed for determining the fractal dimension as a characteristic of homogeneity, the internal order of the structure of the material.

The data of analysis of experimental data published in the scientific literature, which confirm the adequacy of the model.

Keywords: fractal, model, concrete, fracture, fractal dimension, strength, structure, defect.

Received for publication on 03.06.2020

* Selyaev Vladimir Pavlovich - Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Sciences, Professor; Selyaev Pavel Vladimirovich - Candidate of Science; Gorenkov Alexander Olegovich - Postgraduate; Bezrukova Evgenia Sergeevna - Postgraduate; Kechutkina Evgenia Lvovna - Engineer; all - National Research Ogarev Mordovian State University (Saransk, Russia).



РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ*

© 2020 Ю.А. Соколова, В.И. Кондращенко,
А.Г. Кесарийский, К.О. Мурадян, А.А. Казаков**

Для определения внутренних напряжений в строительных материалах проведено компьютерное моделирование с применением метода конечных элементов. Дано расчетное обоснование методики, основанной на применении технологии высверливания отверстий в исследуемых образцах. Разработана конечно-элементная модель пористого строительного композита. Исследованы методики формирования внутренних напряжений в расчетном образце. Показано, что применение методов лазерной голографической интерферометрии обеспечивает эффективное определение величины и распределения векторов поля перемещений в области зондирующего отверстия. Для ряда образцов строительных материалов получены экспериментальные данные о распределении деформационных полей, вызванных внутренними напряжениями.

Ключевые слова: внутренние напряжения, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, строительные материалы, лазерная интерферометрия.

Использование структурных моделей строительных материалов на основе численных методов позволяет проводить вычислительный эксперимент с возможностью целенаправленного изменения геометрических параметров структуры, физико-механических свойств компонентов, геометрических параметров пористости и других характеристик. В ряде случаев такая методика обеспечивает возможность уточнять природу процессов и явлений, происходящих в строительных материалах. В данной работе проведено моделирование внутренних, а точнее, собственных напряжений, возникающих в строительных материалах по технологическим причинам.

На рис. 1 представлена модель, созданная для исследования конструкционного материала методом конечных элементов (МКЭ) и реализующая технологию оценки внутренних напряжений посредством удаления части исследуемого образца.

Модель реализована в виде пластины единичной толщины, состоящей из массива треугольных симплекс-элементов и участка с четырёхугольными элементами.

Нижняя граница пластины закреплена, внешние сосредоточенные или распределённые нагрузки отсутствуют. Для осуществления расчёта и корректной работы модуля КАТРАН, разработанного на кафедре «Систе-

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Соколова Юлия Андреевна - академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Московский государственный строительный университет (РФ, Москва); Кондращенко Валерий Иванович (kondrashchenko@mail.ru) - доктор технических наук, профессор, Российский университет транспорта (РФ, Москва); Кесарийский Александр Георгиевич (algeo57k@gmail.com) - кандидат технических наук, Лаборатория комплексных технологий (Павлодар, Казахстан); Мурадян Каринэ Ованесовна (karine.mur@mail.ru) - аспирант, Российский университет транспорта (РФ, Москва); Казаков Андрей Алексеевич (kazak_off1993@mail.ru) - аспирант, Российский университет транспорта (РФ, Москва).

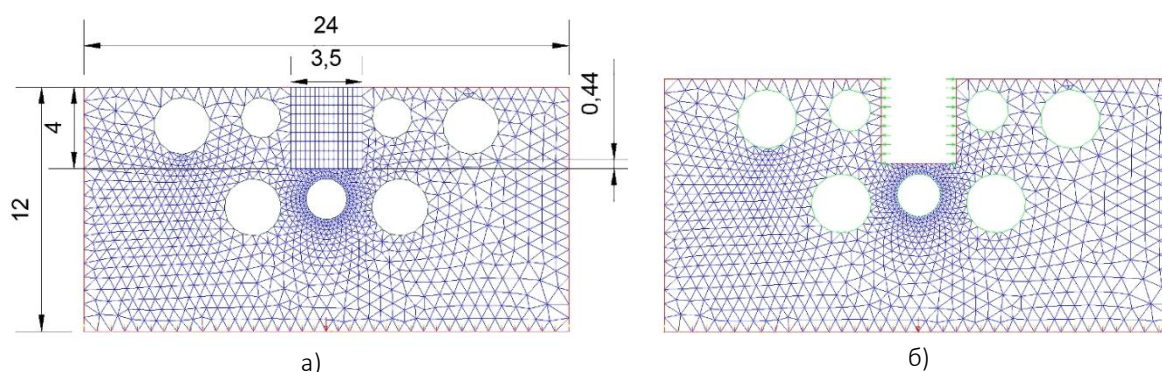


Рис. 1. Конечно-элементная модель образца пористого материала до (а) и после (б) удаления части материала

мы автоматизированного проектирования» Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта, к закреплению в нижней части пластины по центру приложена фиктивная нагрузка, не влияющая на дальнейшие результаты расчета.

Для минимизации погрешности расчета участок, выбранный для удаления, создан с помощью четырёхугольных элементов (рис. 1б).

Программа для создания вышеупомянутой модели написана на языке AutoLISP в AutoCAD. Для назначения физико-геометрических характеристик, расчёта и вывода напряжений, а также деформаций пластины используется расчётный модуль КАТРАН.

С целью создания начальных напряжений в образце использовалось изменение коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) - одной из назначаемых материалу характеристик. Матрице материала заданы физико-геометрические характеристики, а на границе пор сформированы стержневые элементы, имитирующие расширение материала.

На рис. 2 изображены деформационные схемы конечно-элементной модели до (рис. 2а) и после (рис. 2б) удаления выбранного участка.

Численные значения перемещений при расширении пор на 15% и 30% представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

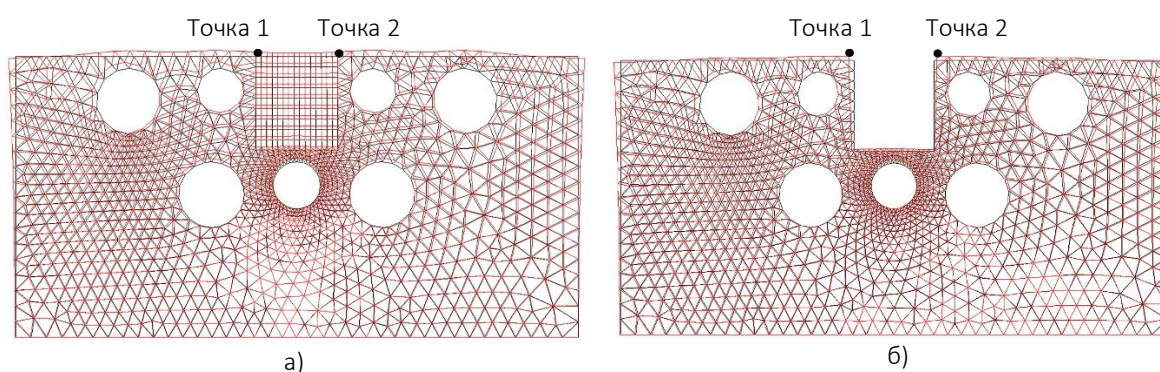


Рис. 2. Деформационная схема конечно-элементной модели до (а) и после (б) удаления выбранного участка

Таблица 1. Перемещение крайних точек «берегов» при расширении пор на 15 %

	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Целая пластина	0,00000653	0,00008386	-0,00000823	0,00008561
Часть вырезана	-0,00019526	0,00015438	0,00009998	0,00014184



Таблица 2. Перемещение крайних точек «берегов» при расширении пор на 30 %

	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Целая пластина	0,00001307	0,00016772	-0,00001646	0,00017121
Часть вырезана	-0,00039052	0,00030875	0,00019996	0,00028369

При вырезании части пластины контрольная точка 1 удаляется от своего первоначального положения вверх и влево, а точка 2 - вверх и вправо, что подтверждают проведенные в лаборатории эксперименты.

Экспериментальное обнаружение внутренних напряжений основано на переводе исследуемого образца из одного стабильного состояния уравновешенности внутренних сил в другое уравновешенное состояние, сопровождающегося формоизменением объекта исследования. Для получения деформационного отклика исследуемого образца, наиболее простым и эффективным способом является удаление части материала методом высверливания. При этом следует регистрировать не общее изменение геометрических параметров образца, а ПОЛЕ перемещений в зоне удаления материала. Для этой цели наиболее эффективным является применение лазерно-интерференционных методов регистрации полей перемещений.

В машиностроении определение остаточных напряжений лазерно-интерференционными методами существенно облегчается благодаря тому, что контролируемый объект достаточно легко закрепить без привнесения существенных искажений в поле напряжений около зоны контроля [1]. Образцы строительных материалов, например, пенобетона имеют невысокую прочность, что требует применения специальных приемов для фиксации их положения при механическом воздействии в процессе испытаний. Кроме того, при работе с металлами можно удалять материал без привнесения дополнительных напряжений, например, используется электрохимические методы. Для строительных материалов применимы, в основном, методы механического удаления. Эти особенности приводят к тому, что при выполнении исследований следует соблюдать ряд специальных условий.

Прежде всего, схема регистрации голографических интерферограмм должна позволять ввести сверлильный инструмент в зону размещения объекта исследования. По этой причине метод Денисюка для регистрации голограмм практически трудно применим [2]. Для проведения исследований предпочтительно использовать схему регистрации голограмм по методу Лейта-Упатниекса [3]. При этом традиционная оптическая схема для задач определения внутренних напряжений не всегда обеспечивает удобство выполнения эксперимента. Для устранения этих недостатков схема была модернизирована и трансформирована в вертикальной плоскости, как показано на рис. 3.

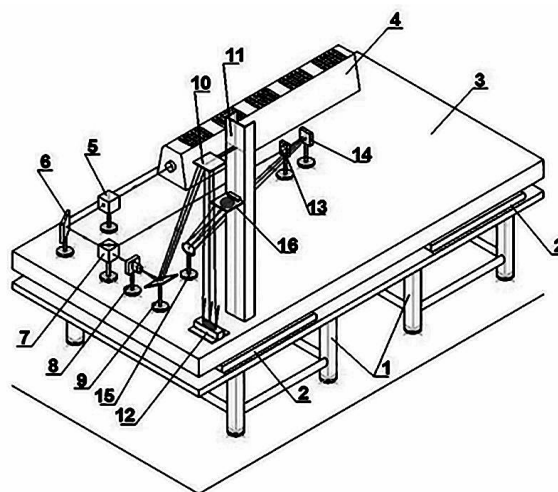


Рис. 3. Пространственная схема регистрации голографических интерферограмм по методу Лейта-Упатниекса:

- 1 - опоры голографической установки; 2 - подушки-пневмоамортизаторы; 3 - виброзащищенная платформа; 4 - лазер; 5 - оптический затвор; 6, 9, 10, 14, 15 - зеркала; 7 - светоделитель; 8 - микрообъектив; 11 - вертикальный рейтер; 12 - объект исследования в устройстве фиксации; 13 - линза опорного пучка; 16 - фотопластинка

Разработанная схема обеспечивает свободный доступ инструмента к объекту исследования при настройке максимальной чувствительности измерительной системы на



перемещения в направлении нормали к исследуемой поверхности.

Практическая реализация измерительной схемы показана на рис. 4. Вертикальное

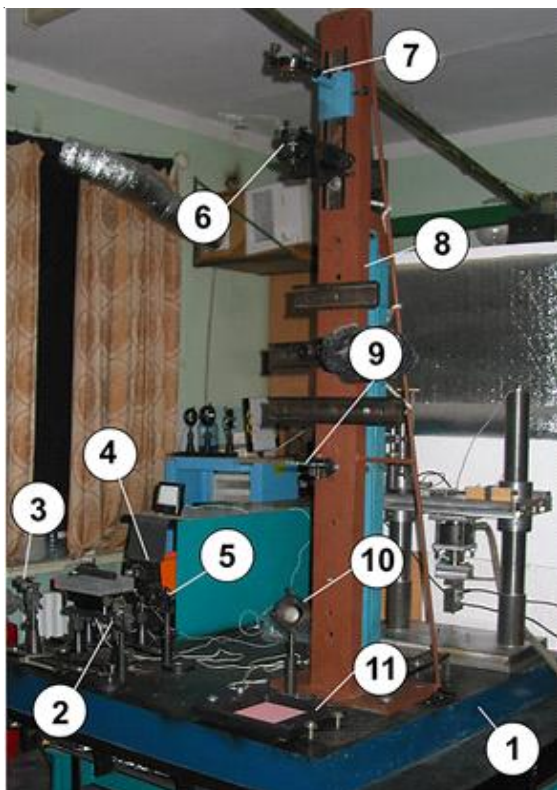


Рис. 4. Практическая реализация схемы Лейта-Упатниекса:

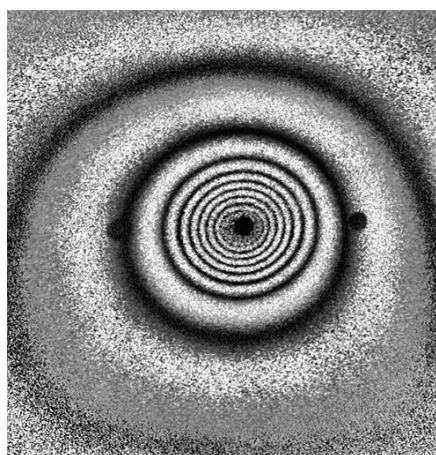
- 1 - виброзащищенная платформа; 2 - зеркало опорного пучка; 3 - зеркало предметного пучка;
- 4 - лазер; 5 - микрообъектив опорного пучка;
- 6 - микрообъектив предметного пучка; 7 - зеркало предметного пучка; 8 - вертикальный рейтер;
- 9 - фотопластинка; 10 - зеркало опорного пучка;
- 11 - рамка для крепления объекта исследования

расположение элементов оптической схемы позволило исключить использование громоздких коллимирующих линз, поскольку значительное удаление микрообъектива от исследуемой поверхности обеспечивает формирование квазиплоского волнового фронта, освещающего поверхность исследования.

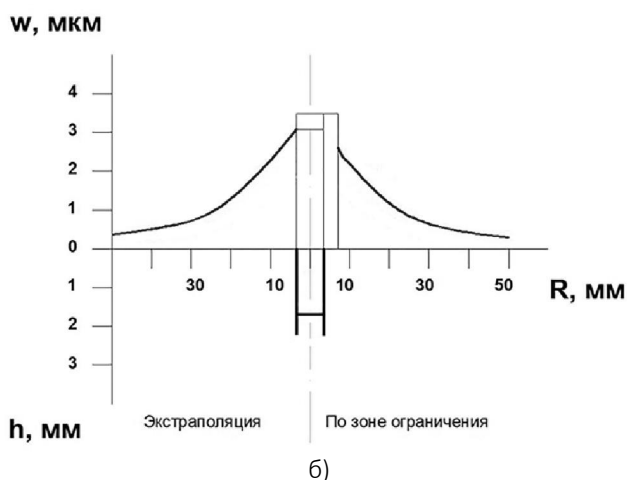
Для обеспечения минимизации напряжений, наведенных процессом удаления материала, применялась трубчатая алмазная коронка, позволяющая при минимальной подаче реализовать наиболее щадящий режим удаления материала с минимальным тепловым и механическим воздействием на объект исследования.

Кроме того, в силу низкой прочности поверхностных слоев образцов строительных материалов, для обеспечения корреляции голографических изображений до и после удаления материала, извлечение продуктов резания из зоны сверления выполняли без механического воздействия, одновременно с процессом высверливания. Для этого использовался малогабаритный воздухозаборник, связанный с пылесосом.

Сравнительно невысокая прочность образцов строительных материалов, например, пенобетонов, потребовала использовать при креплении образцов прижимы, фиксирующие образец не по локальным точкам, а по развитой, например, боковой поверхности. При этом усилие прижатия выбирали мини-

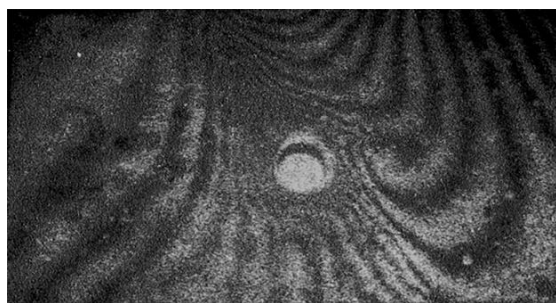


а)

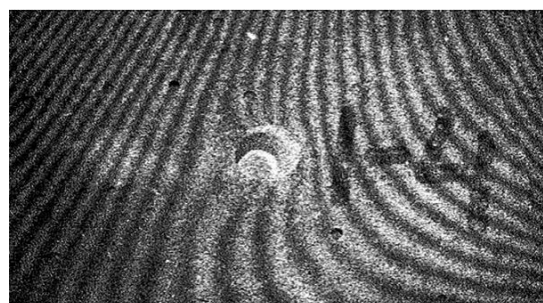


б)

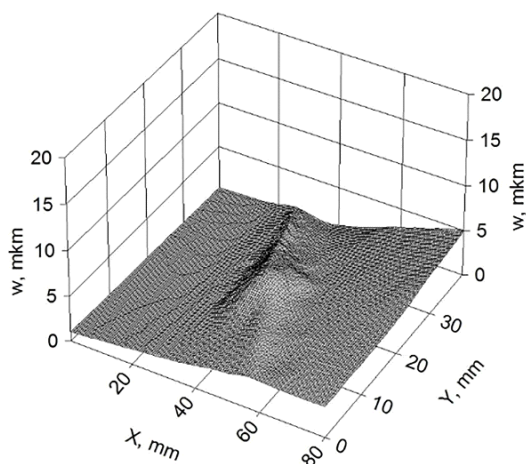
Рис. 5. Интерферограмма (а) и график (б) поля перемещений поверхности фрагмента НРЛ-панели под действием внутренних напряжений



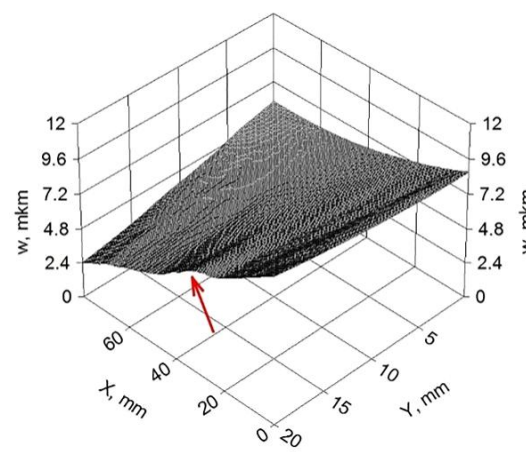
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Интерферограммы (а, б) и поля перемещений w (в, г), вызванных внутренними напряжениями в образцах бетона контрольного состава (а, в) и содержащих золу-уноса (б, г)

мально возможным, позволяющим удерживать образец за счет сил трения.

В процессе экспериментальных исследований внутренних напряжений использовался метод двойной экспозиции. При этом первое экспонирование выполнялось в исходном состоянии образца, а второе - после удаления материала в зоне тестирования. На рис. 5 для иллюстрации метода показана интерферограмма, полученная при исследовании фрагмента HPL-панели, изготовленной из древесины и синтетических смол.

Анализ интерферограммы показывает, что после удаления части материала образца путем засверливания на глубину $h = 1,7$ мм, под воздействием внутренних напряжений формируется равномерное поле перемещений. На рисунке 5б показан график перемещений w , полученный по диаметальному сечению зондирующего отверстия.

При исследовании внутренних напряжений в бетонах метод позволяет оценить уровень и характер распределения напряжений

в зависимости от состава и технологии изготовления. На рис. 6, для примера, показаны поля перемещений, сформированные под действием внутренних напряжений в бетонах контрольного состава (рис. 6а) и содержащих в своем составе золу-уноса тепловой электростанции (рис. 6б).

Анализ интерферограмм полей перемещений, полученных при исследовании бетонов контрольного состава (рис. 6а), показывает, что деформации, возникающие под действием внутренних напряжений, формируют поле (рис. 6в), имеющее максимум перемещений в зоне высверливания, составляющий $w = 3,8-4,0$ мкм. Для бетонов, имеющих в составе золу-уноса, величины перемещений крайне малы и максимум в зоне удаления материала не превышает $w = 0,5$ мкм (рис. 6г). Тем самым установлено, что частичная замена цемента золой-уноса способствует снижению внутренних напряжений в бетоне.

Таким образом, применение лазерно-интерференционных методов позволяет вы-



полнить оценку уровня внутренних напряжений в материалах и наметить целенаправленные пути совершенствования технологии изготовления и модернизации их составов, а также использовать полученные результаты для верификации математических моделей сложно-структурированных материалов.

Библиографический список

1. Островский Ю.И., Щепинов В.П., Яковлев В.В. Голографические интерференционные ме-

тоды измерения деформаций. - М.: Наука, 1988. - 248 с.

2. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения // Доклады Академии наук СССР. - 1962. - Том 144 (6). - С. 1275-1278.

3. Jones R., Wykes C. Holographic and Speckle Interferometry. A Discussion of the Theory, Practice and Application of the Techniques. Cambridge et al., Cambridge University Press. (1983). 342 p.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.

CALCULATED AND EXPERIMENTAL STUDIES OF INTERNAL STRESSES IN CONSTRUCTION MATERIALS

© 2020 Yu.A. Sokolova, V.I. Kondrashchenko, O.G. Kesariisky, K.O. Muradian, A.A. Kazakov*

The justification of the internal stresses estimation method in construction materials by drilling holes is carried out with the computer simulation. The finite element method is used. A mathematical model of a porous construction composite has been developed. The internal stresses formation methods in the analytical model are investigated. The efficiency of the laser interferometry application for the experimental displacement field determination of the drilled holes edge for the internal stresses estimation in the material is shown. Experimental data for different types of building materials were obtained.

Keywords: internal stresses, computer simulation, finite element method.

Received for publication on 03.06.2020

* Sokolova Yulia Andreevna - Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Russia, Moscow); Kondrashchenko Valeriy Ivanovich - Doctor of Sciences, Senior Researcher, Russian University of Transport (Russia, Moscow); Kesariisky Oleksandr Georgiyovich, - Candidate of Sciences, «Laboratory of Complex Technologies» (Kazakhstan, Pavlodar); Muradian Karine Ovanesovna - postgraduate student, Russian University of Transport (Russia, Moscow); Kazakov Andrei Alekseevich - postgraduate student, Russian University of Transport (Russia, Moscow).



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙФОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ*

© 2020 К.В. Талантова, Н.М. Михеев**

В работе рассматриваются вопросы обеспечения эксплуатационных требований, предъявляемых к сейфовым помещениям для хранения информации, оружия, наркотиков, в том числе кладовым хранения ценностей банков. Ограждения сейфовых помещений разрабатываются из элементов на основе сталефибробетона. Применение сталефибробетона позволяет создавать элементы конструкций кладовых хранения ценностей заданного класса устойчивости к взлому, в том числе двери. Для автоматизированного проектирования кладовых хранения ценностей в сборно-разборном варианте с несущим каркасом из стальных профилей разрабатывается программа «SAVE». Представленные результаты исследований получены с учётом нормативных требований.

Ключевые слова: здания банков, сейфовые помещения, кладовые хранения ценностей, устойчивость к взлому, ударная прочность, стойкость к воздействию взрыва и огня при пожаре, сталефибробетон.

Введение

Банковская система современной России достаточно активно стала развиваться в 90-х годах XX века. потребовалось большое количество сейфовых помещений, соответствующих требованиям норм [1]. Сейфовые помещения необходимы многим учреждениям и компаниям для их стабильного функционирования, среди которых особые требования к сейфовым помещениям - кладовым хранения ценностей предъявляются учреждениями банков [2-3].

Как показали результаты исследований отечественных и зарубежных специалистов и практический опыт применения в строительстве конструкций на основе строительного композита - сталефибробетона (СФБ) свидетельствуют о том, что его применение является гарантией обеспечения их эксплуатационных характеристик прочности, и де-

формативности при действии статических и динамических нагрузок, воздействия взрыва и пожара [4-11].

1. Сейфовые помещения из элементов конструкций на основе сталефибробетона

По степени сложности взлома, согласно нормам, банковские сейфы разделяют на несколько классов (от 0 до XIII) - чем выше класс, тем надежней защита [1]. Традиционно они изготавливаются, как правило, из высокопрочного металла и имеют толстые стенки с наполнением и без него [12].

По существующим отечественным нормам в банковских учреждениях устройство ограждения сейфовых помещений рекомендуется выполнять из элементов конструкций на основе сталефибробетона (СФБ): сталефибробетонных (СФБК) и в комбинации со

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Талантова Клара Васильевна (talant_bar@mail.ru) - доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Петербургский университет путей сообщения Императора Александра I» (Санкт-Петербург, РФ); Михеев Николай Матвеевич (miheevnm@bk.ru) - преподаватель, ГБПОУ «Академия управления городской средой, градостроительства и печати» (Санкт-Петербург, РФ).



стержневой или проволочной арматурой - сталефиброжелезобетонных (СФЖБК) [2-3].

Сталефиброжелезобетонные ограждения сейфовых помещений - кладовых хранения ценностей в зависимости от класса устойчивости к взлому по [1] необходимо выполнять из СФБ класса по прочности на сжатие до $B_f 60$ и по прочности на растяжение при изгибе до $B_{ftb} 6,4$. При этом необходимо соблюдать специальные требования по выбору материалов для приготовления СФБ смеси и обеспечения равномерности распределения фибр по сечениям элементов [4]. При этом целесообразно фибровое армирование стальной фиброй проволочной или листовой диаметром $d_f d \leq 0,6$ мм с отношением длины и диаметра $l_f/d_f d \leq 70$.

Эффективность применения СФБ в ограждениях кладовых хранения ценностей определяется его высокой ударной прочностью, превышающей прочность исходного бетона до 20 раз. Причем вязкость разрушения, характерная для СФБ при воздействии ударной нагрузки, до 40 раз выше аналогич-



Рис. 1. Бронедверь 8 класса устойчивости к взлому ДХЦ - 8. Экспериментальный образец. Процесс заполнения бронекоробки сталефибробетонной смесью

ной характеристики бетона. Развитие трещин и разрушение в СФБ наступает более чем в 10 раз медленнее, чем в железобетонных конструкциях (ЖБК). Предел трещиностойкости СФБ до 20-ти раз может превышать трещиностойкость бетона и ЖБК. Физико-механические свойства СФБ, которыми можно управлять, являются основой обеспечения класса устойчивости к взлому, поскольку

свойства композита - СФБ могут быть заданы в соответствии с эксплуатационными требованиями [4-11].

С учетом требований норм проектирования такого типа объектов, под руководством и при участии авторов были разработаны и возведены монолитные СФЖБ ограждения кладовых хранения ценностей (8 объектов). При возведении кладовых проектирование состава СФБ смеси было выполнено по методике, разработанной автором [5]. При этом контроль качества СФБ смеси и элементов СФЖБ конструкций осуществлялся в соответствии с ТУ 5751 - 001 - 01505908 - 97 [13] и действующим ГОСТ Р [1] и ВСП [2].

Совместно со специалистами завода защитных покрытий (ЗЗП) г. Бийск авторами была разработана конструкция бронедверей, с применением сталефибробетона (рис. 1), для кладовых хранения ценностей 8 класса устойчивости к взлому и технические условия ТУ 7399 - 013 - 31480175 - 98 [14], которые прошли согласование, утверждение и сертификацию в установленном порядке.

При разработке конструкции двери хранилища ценностей в комбинированном варианте (стальная обойма, заполненная сталефибробетоном), среди других, стояла задача - проектирование состава СФБ смеси, обеспечивающей заданные физико-механические характеристики. Прежде всего, прочность СФБ при сжатии, соответствующую классу не ниже $B_f 40$. Это позволит обеспечить устойчивость к взлому разрабатываемой бронедвери не ниже 8-го класса.

Для решения поставленной задачи был запроектирован состав СФБ смеси класса $B_f 45$. Для этого было принято моноармирование фиброй резаной из листовой низкоуглеродистой стали по ТУ 21-33-60-87 с расчётным сопротивлением на растяжение $R_s = 400$ МПа, диаметром $d_f = 0,6$ мм и длиной $l_f = 40$ мм, при $l_f/d_f = 66$ [15]. Содержание фибры по расчёту составило 1,5% V, что соответствует 117 кг/м^3 СФБ смеси. В качестве заполнителя был использован песок с модулем крупности $M_{кр} = 2,5$; абсолютной плотностью $3,1 \text{ г/см}^3$; с удельной поверхностью

8 м²/кг. В качестве вяжущего был использован портландцемент марки 500.

Испытания лабораторных образцов СФБ на основе мелкозернистого бетона в возрасте 28 суток нормального твердения показали прочность при сжатии $R_{fb} = 41,6$ МПа, что соответствует классу СФБ В_ф 45, прочность СФБ на растяжение при изгибе составила 8,1 МПа, что превысило нормативные требования.

Экспериментальная проверка прочности полученного материала и испытания опытного образца двери ДХЦ-8 подтвердила соответствие её характеристик требованиям 8 класса устойчивости к взлому.

2. Сборно-разборные кладовые хранения ценностей

Кладовые хранения ценностей в ряде случаев устраиваются в приспособленных помещениях, где весьма сложно и трудоемко обеспечить заданный уровень качества монолитных железобетонных (ЖБ) элементов конструкций. Авторами предлагаются конструктивные решения сталефиброжелезобетонных сборно-разборных помещений кладовых хранения ценностей или сейфовых помещений универсального назначения. Сборно-разборные кладовые хранения ценностей при необходимости могут быть разобраны и установлены на новом месте для дальнейшей эксплуатации.

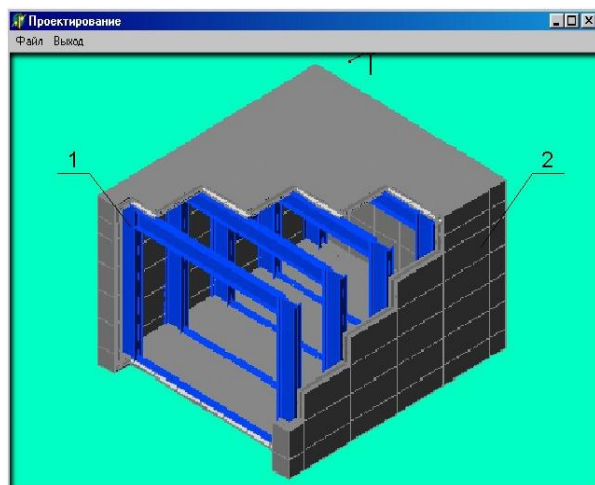


Рис. 2. Схема сейфового помещения с ограждением из сборных сталефиброжелезобетонных элементов:
1 - металлическая рама; 2 - элементы ограждения

В соответствии с нормами [1-2] монолитные хранилища должны отвечать требованиям устойчивости к взлому с V по VIII классы. По предварительной оценке, устойчивость к взлому сборно-разборных кладовых должна соответствовать с V по VIII классам.

Несущей конструкцией в сборно-разборных сейфовых помещений является сборно-разборная металлическая рама с жесткими узлами из прокатных или гнутых профилей (рис. 2). Соединения ригеля со стойкой выполняются на болтах с малым коэффициентом податливости. Все элементы рамы могут быть изготовлены на заводе металлоконструкций.

Ограждающие конструкции сейфового помещения - сталефиброжелезобетонные элементы, изготавливаемые на заводе железобетонных изделий, собираются из рядовых и доборных элементов.

Размеры рядовых элементов определяются их весом. При этом принимаются длина от 500 мм до 1000 мм, ширина 500 мм (рис. 3). Размеры доборных элементов при принятых габаритах рядовых, определяются размерами помещения. Ограждающие элементы покрытия рассчитываются на изгиб от действия равномерно распределенной нагрузки от собственного веса конструкций и монтажных нагрузок. Стеновые элементы рассчитываются как сжато-изгибаемые элементы. Толщина СФЖБ элементов (от 160 мм до 320 мм), назначаются в зависимости от класса устойчивости к взлому.

Элементы пола, помимо других нагрузок, испытывают местное сжатие (смятие) от нагрузки, создаваемой рамой с закрепленными на ней СФЖБ элементами. Сооружение целиком может быть подвергнуто взрыву.

Нагрузки, действующие на кладовые хранения ценностей, имеют статический и динамический характер. Статические нагрузки: вес ограждающих и несущих конструкций. Динамические нагрузки: от действий, направленных на достижение полного или частичного доступа в кладовую, с помощью набора инструментов и приспособлений, и от действия взрыва по [1].

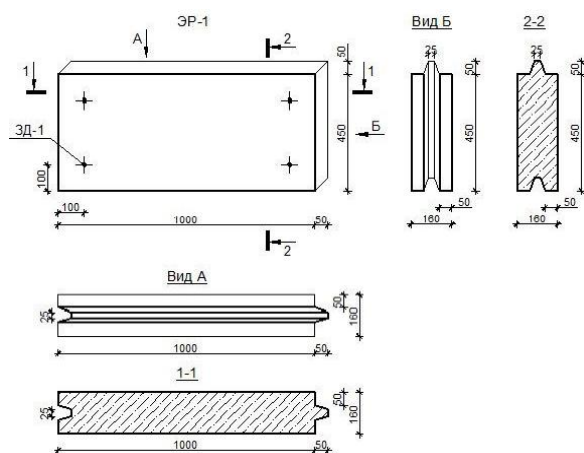


Рис. 3. Схема рядового сталефиброжелезобетонного элемента ограждения ЭР - 1

Сталефиброжелезобетонные элементы кладовых должны быть рассчитаны и законструированы на усилия от действующих нагрузок.

Анализ результатов статического и динамического расчетов и полученных картин полей напряжений позволяет определить опасные сечения и расчетные усилия и напряжения, по величинам которых следует выбирать тип фибрового армирования (моно- или полидисперсное) [16], диаметр d_f , длину фибр l_f , их соотношение l_f/d_f и объемное содержание μ_{fv} . Параметры фибрового армирования влияют на выбор компонентов исходного бетона (песка и цемента), а также на технологию приготовления СФБ смеси и изготовления сборных СФЖБ элементов [17]. При выборе характеристик

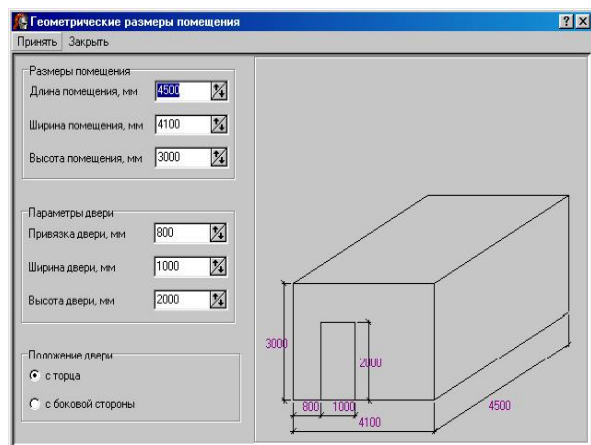
материалов для СФБ смеси, можно воспользоваться программой для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы № 2012619865 от 31.10.12.). После статического (динамического) расчета выполняется конструктивный расчет элементов кладовой, в соответствии с принятыми расчетными схемами и усилиями от внешних нагрузок.

Для автоматизированного проектирования сборно-разборных кладовых хранения ценностей средствами программирования «Delphi 5» и «Auto LISP» разрабатывается программа «SAVE», которая позволит выполнить все этапы проектирования сейфовых помещений заданного класса устойчивости к взлому и размера. На рисунках 4-6 приведены фрагменты интерфейса программы, которая позволяет на основе автоматизированной компоновки несущих и ограждающих элементов, статического, динамического и конструктивного расчетов, а также конструирования получить комплект рабочих чертежей кладовой хранения ценностей.

Согласно результатам расчетов, выполненных программными средствами, на кладовую V класса устойчивости к взлому площадью 4 м², высотой 2,5 м требуется 52 шт. СФЖБ блоков.

Стоимость материалов комплекта СФЖБ блоков для возведения кладовой указанного размера равна примерно 210 тыс. рублей. Вес стального каркаса из уголков и двутав-

а)



б)

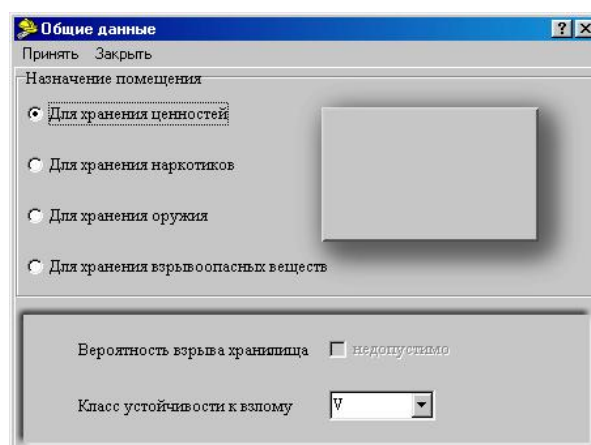


Рис. 4. Ввод данных: а) по геометрии сейфового помещения; б) по назначению объекта

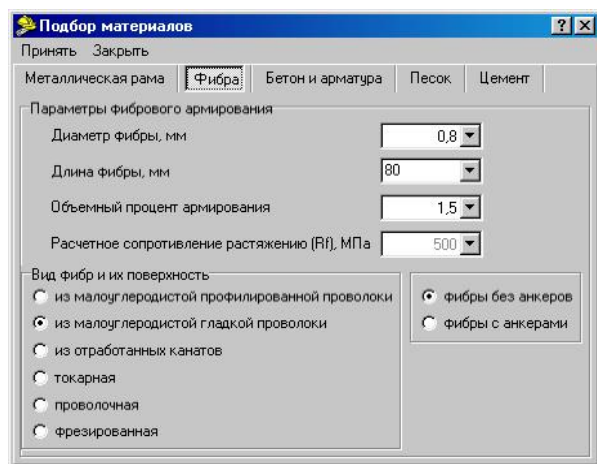


Рис. 5. Ввод параметров армирования стальной фиброй

Наименование	Маркерка	Длина элем	Ширина элем	Толщина элем	Количество	Масса элем
Стена №1						
Рядовой элемент стеновой	ЗРС1	500	500	92	12	
Элемент доборный стеновой	ЗДС2	500	300	55,2	3	
Элемент доборный стеновой	ЗДС3	800	300	88,32	1	
Стена №2						
Рядовой элемент стеновой	ЗРС1	250	500	46	28	
Элемент доборный стеновой	ЗДС2	250	300	27,6	7	
Элемент доборный стеновой	ЗДС3	300	300	33,12	1	
Стена №3						
Рядовой элемент стеновой	ЗРС1	250	500	46	48	
Элемент доборный стеновой	ЗДС4	250	300	27,6	12	
Элемент доборный стеновой	ЗДС5	400	300	44,16	1	
Стена №4						
Рядовой элемент стеновой	ЗРС1	250	500	46	18	

Рис. 6. Результаты работы программы Сборные сталефибробетонные элементы ограждения сейфового помещения: элементы компоновки

ров составляет около 800 кг, стоимостью приближённо 52 000 рублей. Общая стоимость сборно - разборной кладовой хранения ценностей по материалам составляет ориентировочно 262 тыс. рублей в ценах 2019 года.

Литература

1. ГОСТ Р 50862-2017. Сейфы, сейфовые комнаты и хранилища ценностей. Требования и методы испытаний на устойчивость к взлому и огнестойкость.
2. Сталефибробетонные ограждения защищаемых помещений учреждений Центрального банка Российской Федерации. Правила производства работ, контроля качества и приемки // Ведомственный свод правил. ВСП 103-97 / Банк России. ЦБ РФ - М.: 1997. - 47 с.
3. Здания территориальных главных управлений национальных банков и расчетно-кассовых центров Центрального банка Российской Федерации: ВНП 001-01 / Банк России: утв. приказом ЦБ РФ от 10.01.02: ввод в действие с 01.01.02.
4. Талантова, К.В. Сталефибробетон для оболочек хранилищ ценностей / К.В. Талантова, Н.М. Михеев // Научные труды общества железобетонщиков Сибири и Урала, Новосибирск, 1995. - Вып. 3. - С.43-45.
5. Талантова, К.В. О методике проектирования состава сталефибробетонной смеси // Актуальные проблемы строительного материаловедения: материалы Всероссийской научно-технической конф. - Томск. 1998. - С. 69-71.

6. Романов, В.П. Влияние параметров дисперсного армирования на прочность элементов из сталефибробетона при статических и динамических нагрузках / В.П. Романов, Ф. Н. Рабинович, И.Д. Захаров // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. - Л.: ЛЕНЗНИИЭП, 1985. - С. 88 - 94.

7. Жуков В.В. Влияние фибрового армирования и температуры нагрева на вязкость разрушения сталефибробетона / В.В. Жуков, Е.Н. Шустова, Г.А. Григорян, Г.А. Шевченко // ЦИОНТ ПИК ВИНТИ. - №4. - 1985. - С.4-13.

8. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории, и проектирования, технология, конструкции: Монография - М.: Изд-во АСВ, 2004. - 560 с.

9. Сурова И.К. Исследования сопротивление фибробетона удару. Автореферат диссертации. - Л.: 1977. - 24 с.

10. Tetnell, P. C. Steel fibrous concrete pumped for burst protection. Concrete International Design and construction / P. C. Tetnell // Design and Construction. - 1984. - Vol. 6, № 12. - P. 48 - 51.

11. Romualdi, G. P. Tensile Strength of concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of wire Reinforcement / G. P. Romualdi, G. A. Mandel // ACI Journal. - 1964. - № 6. - P. 657 - 671.

12. ГОСТ Р 50862-2012 Национальный стандарт Российской Федерации. Сейфы, Сейфовые комнаты и хранилища ценностей.

13. ТУ 5751 - 001 - 01505908 - 97 «Смеси сталефибробетонные для промышленного, гражданского и дорожного строительства». Зарегис-



трировано в Алтайском центре стандартизации и метрологии. Регистрационный № 002391.

14. ТУ 7399 - 013 - 31480175 - 98 «Дверь хранилища ценностей ДХЦ 8».

15. Фибра стальная для дисперсного армирования бетона. ТУ 21 -33-60-87. - М.: ГУП НИИЖБ, 1987.

16. Лобанов И.А. О возможных путях улучшения свойств фибробетонов / И.А. Лобанов, В. А. Голанцев // Строительные конструкции зданий и сооружений: межвуз. сб. - Барнаул: Алтай-

ский политехнический ин-т им. И.И. Ползунова, 1989. - С. 55 - 61.

17. Талантова, К.В. Регулирование свойств композита - сталефибробетона с целью обеспечения эксплуатационных характеристик конструкций на его основе / К.В. Талантова // Проблемы оптимального проектирования сооружений: доклады 2-ой Всерос. конф. (Новосибирск, 5-6 апреля, 2011 г.) - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. - С. 347 -354.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.

MAINTENANCE OF SAFE ROOMS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

*© 2020 K.V. Talantova, N.M. Mikheev**

The paper considers the issues of ensuring operational requirements for safe rooms for storing information, weapons, drugs, including pantries for storing bank valuables. Fences of safe rooms are developed from elements based on steel fiber concrete. The use of steel fiber concrete allows you to create structural elements of storage rooms for valuables of a given class of resistance to burglary, including doors. For the automated design of pantries for storing valuables in a collapsible version with a supporting frame made of steel profiles, the SAVE program is being developed. The article shows the program algorithm. The research results presented are based on regulatory requirements.

Keywords: bank buildings, safe rooms, storage rooms for valuables, burglary resistance, impact strength, resistance to explosion and fire in case of fire, resistance, steel fiber reinforced concrete, steel fiber reinforced concrete.

Received for publication on 03.06.2020

* Talantova Klara Vasilievna - Doctor of Sciences, associate professor, Federal state budget educational institution of higher education "Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I" (Saint Petersburg, Russia); Mikheev Nikolay Matveyevich - teacher, St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "Academy of Urban Management, Urban Planning and the Press (Saint Petersburg, Russia).



ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА ВО ВРЕМЕНИ НА НДС СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА*

© 2020 А.А. Трещев, В.О. Кузнецова**

В данной статье построена математическая модель, описывающая влияние изменения концентрации водородосодержащей среды на напряжённо-деформированное состояние тонкой пологой сферической оболочки из титанового сплава, нагруженной равномерно-распределённой нагрузкой. Использовалась нелинейная модель, представленная в нормированных пространствах напряжений. Прогибы оболочки приняты большими, закрепление - жёсткое. Разработан алгоритм решения проблемы наводороживания оболочек из титанового сплава. Практическое решение производилось двухшаговым методом последовательных возмущений параметров с использованием пакетов прикладных программ MatLab и Maple. Для решения системы разрешающих дифференциальных уравнений применён метод конечных разностей. Произведено сравнение полученных результатов с результатами классической теории и теории И.Г. Овчинникова.

Ключевые слова: полая оболочка, титановый сплав, конечные разности, нелинейное деформирование, изотропный материал, большие прогибы.

Сплавы титана имеют широкое применение в изготовлении конструкций разных отраслей промышленности: авиационной, ракетной, химической, а также в строительной индустрии. Это исходит из большого набора ценных свойств, к ним относят: высокую коррозионную стойкость сплавов, их малый удельный вес, большую прочность и жаропрочность и достаточную пластичность при низких температурах [1]. Титановые сплавы в процессе наводороживания получают свойства разнсопротивляемости, меняющиеся во времени, что приводит к охрупчиванию и раннему разрушению конструкций [2].

Чтобы решить задачу, обладающую тройной нелинейностью, принимаем двухшаговый метод последовательных возмущений параметров В.В. Петрова, линеаризующий исходные уравнения с высокой точностью. Рассмотрим упругое равновесие обо-

лочки толщиной h , воспринимающей поперечную осесимметричную равномерно-распределённую нагрузку q под действием водородной среды концентрацией λ . Средняя поверхность оболочки - это часть сферы, характеризующаяся радиусом R (м). По контуру оболочка имеет жесткую заделку.

Примем кинетический потенциал деформаций в виде:

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

где $A_e(\lambda)$, $B_e(\lambda)$, $C_e(\lambda)$, $D_e(\lambda)$, $E_e(\lambda)$, $A_p(\lambda)$, $B_p(\lambda)$, $C_p(\lambda)$, $D_p(\lambda)$, $E_p(\lambda)$ - физические функции потенциала квази-

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Трещев Александр Анатольевич (taa58@yandex.ru) - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор; Кузнецова Виолетта Олеговна (kuznecova_violetta@mail.ru) - аспирант; оба - Тульский государственный университет (РФ, г. Тула).



линейной и нелинейной частей, которые зависят от концентрации водорода. Для сплава ВТ1-0 Функции механических характеристик материала принимают вид:

$$\begin{aligned} V_{ek}(\lambda) &= e_{0k} + e_{1k} \cdot \lambda + e_{2k} \cdot \lambda^2; \\ V_{pk}(\lambda) &= p_{0k} + p_{1k} \cdot (p_{2k})^\lambda; \\ A_e(\lambda) &= V_{e1}(\lambda); \quad B_e(\lambda) = V_{e3}(\lambda); \\ C_e(\lambda) &= V_{e2}(\lambda); \quad D_e(\lambda) = V_{e4}(\lambda); \\ E_e(\lambda) &= V_{e5}(\lambda); \quad B_p(\lambda) = V_{p3}(\lambda); \\ C_p(\lambda) &= V_{p2}(\lambda); \quad D_p(\lambda) = V_{p4}(\lambda); \\ E_p(\lambda) &= V_{p5}(\lambda), \end{aligned} \quad (2)$$

где e_{ik}, p_{ik} - коэффициенты полиномов $i = 0..3; k = 1..3$.

Для сферической оболочки справедливо постоянство главных радиусов кривизны её срединной поверхности в пределах плана: $R_1 = R_2 = R$.

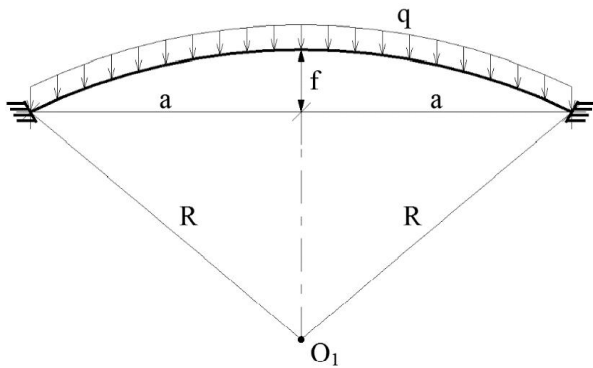


Рис. 1. Схема задачи

Тогда главные кривизны оболочки принимают значение $k_1 = k_2 = k = 1/R$. Далее рассматриваются пологие оболочки, в которых можно пренебречь разницей между длиной дуги срединной поверхности и её проекцией на плоскость [4]. При этом используются следующие зависимости:

а) компоненты деформации в срединной поверхности:

$$\varepsilon_r = u_{,r} - kw + 0,5(w_{,r})^2; \quad \varepsilon_\varphi = \frac{u}{r} - kw, \quad (4)$$

где $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$ - радиальные и окружные относительные деформации в средней поверх-

ности; u, w - радиальные перемещения и прогибы; k - главная кривизна; r - радиальная координата;

б) компоненты изгибной деформации (кривизны):

$$\chi_r = -w_{,rr}; \quad \chi_\varphi = -\frac{w_{,r}}{r}. \quad (5)$$

в) компоненты тензора деформаций через параметры деформации $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$ и кривизны χ_r, χ_φ средней поверхности:

$$e_r = \varepsilon_r + z\chi_r; \quad e_\varphi = \varepsilon_\varphi + z\chi_\varphi, \quad (6)$$

где z - вертикальная координата, отсчитываемая от срединной поверхности оболочки, направленная к центру кривизны.

Подставляя зависимости (4)-(5) в (6), получим выражения для компонентов тензора деформаций через перемещения и прогибы:

$$e_r = u_{,r} - kw + 0,5(w_{,r})^2 - zw_{,rr};$$

$$e_\varphi = \frac{u}{r} - kw - z\frac{w_{,r}}{r}. \quad (7)$$

Зависимости деформаций от напряжений получены с помощью применения формул Кастильяно к потенциалу W_1 :

$$e_k = \frac{\partial W_1}{\partial \sigma_k}; \quad \gamma_{ij} = \frac{\partial W_1}{\partial \tau_{ij}}; \quad (i, j, k = 1, 2, 3) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} e_{ij} &= 2C_e(\lambda)\sigma_{ij}/3 + 2(A_e(\lambda) - \\ &- C_e(\lambda))\sigma\delta_{ij}/3 + T_{ij}(\lambda), \end{aligned} \quad (9)$$

где $T_{ij}(\lambda)$ - нелинейная составляющая уравнений состояния.

При этом $T_{ij}(\lambda)$ рассматривается как сумма двух слагаемых:

$$T_{ij}(\lambda) = T_{ij}^e(\lambda) + T_{ij}^p(\lambda), \quad (10)$$

где $T_{ij}^e(\lambda)$ - параметры, учитывающие чувствительность механических свойств материала к виду напряженного состояния на квазилинейном этапе деформирования, а $T_{ij}^p(\lambda)$ - параметры учета явления разносопротивляемости материала и не-



линейности экспериментальных диаграмм деформирования.

Связь между деформациями и напряжениями представим в виде:

$$\begin{Bmatrix} e_r \\ e_\varphi \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\varphi \end{Bmatrix} \quad [A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}; \quad (11)$$

Обращая соотношения (11), получаем зависимость напряжений от деформаций:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\varphi \end{Bmatrix} = [B] \begin{Bmatrix} e_r \\ e_\varphi \end{Bmatrix} \quad [B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $[B] = [A]^{-1}$.

Здесь $A_{11}, A_{12}, B_{11}, B_{12}, \dots$ - компоненты симметричной матрицы $[A]$ и $[B]$ - функции, включающие константы потенциала W_1 .

Усилия и моменты найдём через напряжения традиционным способом:

$$\begin{aligned} N_r &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_r dz; \quad N_\varphi = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_\varphi dz; \\ M_r &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_r z dz; \quad M_\varphi = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_\varphi z dz \end{aligned} \quad (13)$$

Связь моментов и усилий с компонентами деформаций оболочки приведём к виду:

$$\begin{aligned} M_r &= K_{11}(\lambda) \varepsilon_r + K_{12}(\lambda) \varepsilon_\varphi + \\ &+ D_{11}(\lambda) \chi_r + D_{12}(\lambda) \chi_\varphi; \\ M_\varphi &= K_{21}(\lambda) \varepsilon_r + K_{22}(\lambda) \varepsilon_\varphi + \\ &+ D_{21}(\lambda) \chi_r + D_{22}(\lambda) \chi_\varphi; \\ N_r &= C_{11}(\lambda) \varepsilon_r + C_{12}(\lambda) \varepsilon_\varphi + \\ &+ K_{11}(\lambda) \chi_r + K_{12}(\lambda) \chi_\varphi; \\ N_\varphi &= C_{21}(\lambda) \varepsilon_r + C_{22}(\lambda) \varepsilon_\varphi + \\ &+ K_{21}(\lambda) \chi_r + K_{22}(\lambda) \chi_\varphi. \end{aligned} \quad (14)$$

С учётом влияния степени наводороживания материалов при концентрации λ материальные функции принимают вид:

$$C_{ij}(\lambda) = \int_{-h/2}^{h/2} B_{ij}(\lambda) dz;$$

$$K_{ij}(\lambda) = \int_{-h/2}^{h/2} B_{ij}(\lambda) z dz;$$

$$D_{ij}(\lambda) = \int_{-h/2}^{h/2} B_{ij}(\lambda) z^2 dz,$$

где B_{ij} - функции, определяемые из экспериментов на деформирование образцов материала при разных уровнях концентрации водорода λ .

Внутренние усилия и моменты оболочки при условии $zk \ll 1$ подчиняются уравнениям равновесия:

$$\begin{aligned} M_{r,r} - M_{\varphi,r}/r + 2M_{r,r}/r + \\ + k(N_r + N_\varphi) + N_r w_{,rr} = -q; \\ N_{r,r} + (N_r - N_\varphi)/r - k[M_{r,r} + \\ + (M_r - M_\varphi)/r] = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Используя условия равновесия (15), а также выражения для усилий и моментов (14), получим систему двух нелинейных дифференциальных уравнений относительно функций u и w , связанных с уровнем наводороживания λ . Для линеаризации этих уравнений используем двухшаговый метод последовательных возмущений параметров [5 - 6]:

$$\begin{aligned} \delta \varepsilon_r &= \frac{\partial e_r}{\partial \sigma_r} \delta \sigma_r + \frac{\partial e_r}{\partial \sigma_\varphi} \delta \sigma_\varphi + \frac{\partial e_r}{\partial \lambda} \delta \lambda; \\ \delta \varepsilon_\varphi &= \frac{\partial e_\varphi}{\partial \sigma_\varphi} \delta \sigma_\varphi + \frac{\partial e_\varphi}{\partial \sigma_r} \delta \sigma_r + \frac{\partial e_\varphi}{\partial \lambda} \delta \lambda; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\delta \varepsilon_r = \delta u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r};$$

$$\delta \varepsilon_\varphi = \frac{\delta u}{r} - k \delta w; \quad \delta \chi_\varphi = -\frac{\delta w_{,r}}{r} \quad (17)$$

Зависимости приращений деформаций в точке через приращения деформаций срединной поверхности $\delta \varepsilon_r$ и $\delta \varepsilon_\varphi$ и кривизн срединной поверхности $\delta \chi_r$ и $\delta \chi_\varphi$ представляются следующим образом:



$$\delta e_r = \delta \varepsilon_r + z \delta \chi_r; \quad \delta e_\varphi = \delta \varepsilon_\varphi + z \delta \chi_\varphi. \quad (18)$$

Используя выражения (16) - (18), получим соотношения, связывающие приращения деформаций и перемещений:

$$\delta e_r = \delta u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr};$$

$$\delta e_\varphi = \frac{\delta u}{r} - k \delta w - z \frac{\delta w_{,r}}{r}. \quad (19)$$

Используя уравнения (14) и зависимости (19), получим зависимости приращений усилий и моментов от приращений перемещений:

$$\delta N_r = C_{11}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) -$$

$$- K_{11}(\lambda) \delta w_{,rr} + C_{12}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w - z \frac{\delta w_{,r}}{r} \right) - K_{12}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r};$$

$$\delta N_\varphi = C_{12}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) -$$

$$- K_{12}(\lambda) \delta w_{,rr} + C_{22}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w - z \frac{\delta w_{,r}}{r} \right) - K_{22}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r};$$

$$\delta M_r = K_{11}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) - (20)$$

$$- D_{11}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r} + K_{11}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w \right) - D_{12}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r};$$

$$\delta M_\varphi = K_{12}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) -$$

$$- D_{12}(\lambda) \delta w_{,rr} + K_{22}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w \right) - D_{22}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r}.$$

Уравнения равновесия сферической оболочки в приращениях имеют вид:

$$\delta M_{r,rr} - \delta M_{\varphi,r}/r + 2\delta M_{r,r}/r + k(\delta N_r + \delta N_\varphi) + \delta N_r w_{,rr} + N_r \delta w_{,rr} = -\delta q;$$

$$\delta N_{r,r} + (\delta N_r - \delta N_\varphi)/r -$$

$$- k[\delta M_{r,r} + (\delta M_r - \delta M_\varphi)/r] = 0. \quad (21)$$

Систему разрешающих дифференциальных уравнений в приращениях (21) дополним граничными условиями: ввиду осесимметричности задачи, в центре оболочки радиальные перемещения, поворот нормали к срединной поверхности и их приращения равны нулю ($w_{,r} = 0, u = 0, \delta w_{,r} = 0, \delta u = 0$).

Подставив в уравнения равновесия (21) выражения приращений усилий и моментов (20), получим систему линеаризованных разрешающих дифференциальных уравнений относительно приращений прогибов и радиальных перемещений:

$$\begin{aligned} & \frac{\delta u}{r} [K_{11}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) - \\ & - D_{11}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r} + K_{11}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w \right) - D_{12}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r}] - \\ & - \delta w_{,r} [K_{12}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) - \\ & - D_{12}(\lambda) \delta w_{,rr} + K_{22}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w \right) - D_{22}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r}] + \\ & + 2 \frac{\delta u}{r} [K_{11}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) - \\ & - D_{11}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r} + K_{11}(\lambda) \left(\frac{\delta u}{r} - k \delta w \right) - D_{12}(\lambda) \frac{\delta w_{,r}}{r}] + \\ & + k(C_{11}(\lambda)(u_{,r} - k \delta w + w_{,r} \delta w_{,r} - z \delta w_{,rr}) - \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & -K_{11}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{12}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - \right. \\
 & \quad \left. - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - K_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} + \\
 & + C_{12}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \\
 & - K_{12}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{22}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - \\
 & - K_{22}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} + w_{,rr}[C_{11}(\lambda)(u_{,r} - \\
 & \quad - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \\
 & - K_{11}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{12}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - \right. \\
 & \quad \left. - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - K_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r}] + \\
 & \delta w_{,rr}[C_{11}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - \\
 & \quad - z\delta w_{,rr}) - K_{11}(\lambda)\delta w_{,rr} + \\
 & + C_{12}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - \\
 & \quad - K_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r}] = -\delta q; \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{\delta u}{r}[C_{11}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \\
 & - K_{11}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{12}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - \right. \\
 & \quad \left. - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - K_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r}] + \\
 & + (C_{11}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \\
 & - K_{11}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{12}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - \right. \\
 & \quad \left. - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - K_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} - C_{12}(\lambda)(u_{,r} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \\
 & - K_{12}(\lambda)\delta w_{,rr} + C_{22}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w - \right. \\
 & \quad \left. - z\frac{\delta w_{,r}}{r}\right) - K_{22}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} - \\
 & - k\left[\frac{\delta u}{r}[K_{11}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - \right. \\
 & \quad \left. - z\delta w_{,rr}) - D_{11}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} + \right. \\
 & \quad K_{11}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - k\delta w\right) - D_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} + \\
 & \quad \left. + (K_{11}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - z\delta w_{,rr}) - \right. \\
 & \quad \left. - D_{11}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} + K_{11}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - \right. \right. \\
 & \quad \left. - k\delta w) - D_{12}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r} - \right. \\
 & \quad \left. - K_{12}(\lambda)(u_{,r} - k\delta w + w_{,r}\delta w_{,r} - \right. \\
 & \quad \left. - z\delta w_{,rr}) - D_{12}(\lambda)\delta w_{,rr} + K_{22}(\lambda)\left(\frac{\delta u}{r} - \right. \right. \\
 & \quad \left. - k\delta w) - D_{22}(\lambda)\frac{\delta w_{,r}}{r}\right] = 0. \quad (23)
 \end{aligned}$$

В процессе химической адсорбции молекулы водорода распадаются на атомы, диффундирующие вглубь материала [7-9]. $\hat{J}$ пропорциональна пространственному градиенту концентрации λ , уравнение диффузии принимает вид:

$$J = -D \text{grad} \lambda = -D \frac{\delta \lambda}{\delta z}, \quad (24)$$

где D - коэффициент диффузии, z - координата в направлении диффузии.

Для одномерной задачи уравнение (24) переходит в первый закон Фика:

$$J = -D \delta \lambda, z.$$



Для титановых сплавов коэффициент диффузии не зависит от концентрации, поэтому из первого закона Фика [10-11] следует второй закон в виде:

$$\frac{\partial \lambda(z, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \lambda(z, t)}{\partial z^2}, \quad (25)$$

где t - текущее время.

Для решения задач наводороживания применим метод интегрального преобразования Фурье [12]. В качестве решения уравнения (25) для процесса односторонней диффузии примем известные аналитические решения, представленные в работе [13]:

$$\begin{aligned} \lambda(z, t) = & \lambda_1 + (\lambda_2 - \lambda_1)z/h + \\ & + (2/\pi) \sum_{i=1}^{\infty} \sin(i \cdot \pi \cdot z/h) \exp(-F_o \pi^2 i^2) \times \\ & \times [\lambda_2 \cos(i \cdot \pi) - \lambda_1] / i, \end{aligned} \quad (26)$$

где $F_o = Dt/h^2$ - число Фурье; i - число членов ряда; λ_1 и λ_2 - краевые условия для концентрации среды сверху и снизу оболочки; h - толщина оболочки; z - координата точки по толщине оболочки.

Краевые условия представлены следующим образом:

а) при воздействии среды со стороны приложения поперечной силовой нагрузки:

$$\lambda(-h/2, t) = \lambda_{\infty} = \lambda_1; \quad \lambda(+h/2, t) = 0 = \lambda_2, \quad (27)$$

здесь λ_{∞} - равновесная концентрация водородосодержащей среды.

Начальные условия имеют вид:

$$\lambda(z, 0) = 0. \quad (28)$$

Заменяя производные полученными конечными разностями в программном комплексе MATLAB, приходим к результатам решения задачи в процессе односторонней диффузии

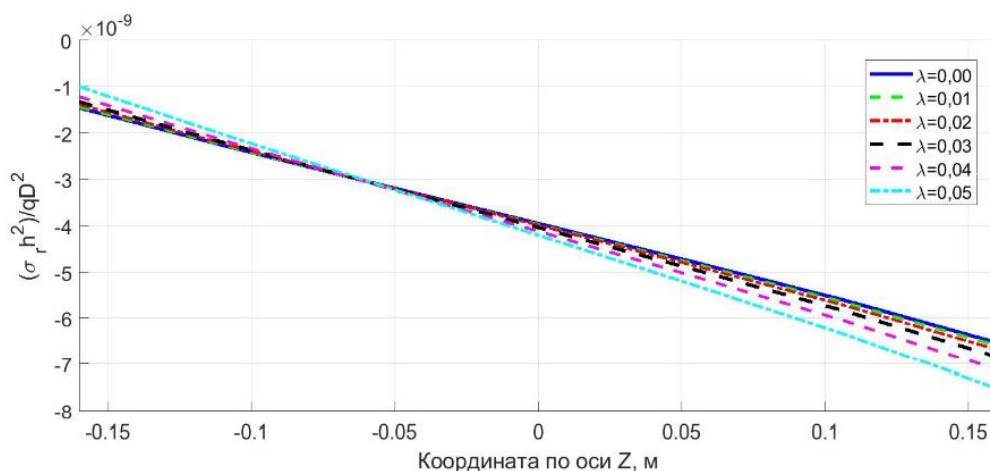


Рис. 2. Напряжения γ_r в точке 1/2 диаметра оболочки (по толщине)

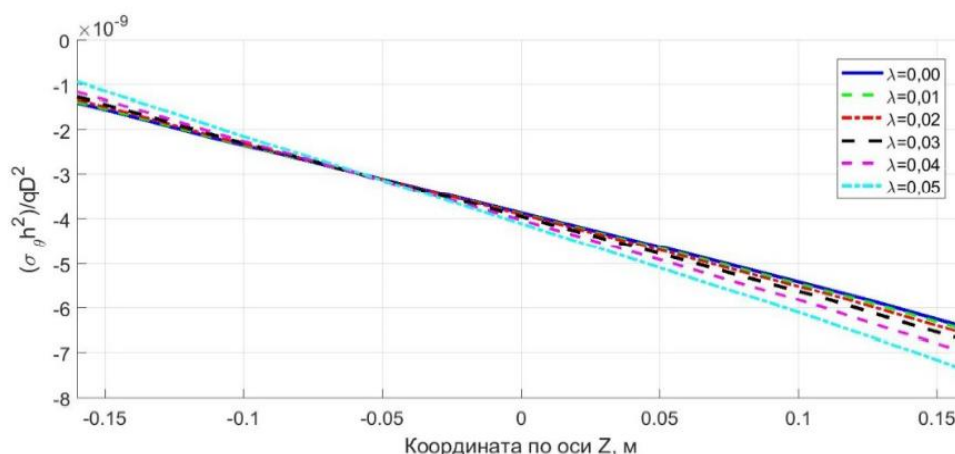


Рис. 3. Напряжения γ_y в точке 1/2 диаметра оболочки (по толщине)

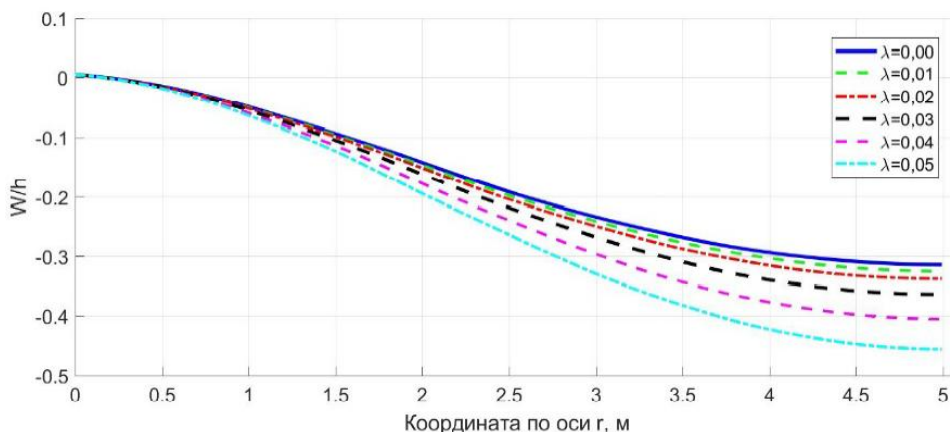


Рис. 4. Прогибы в оболочке

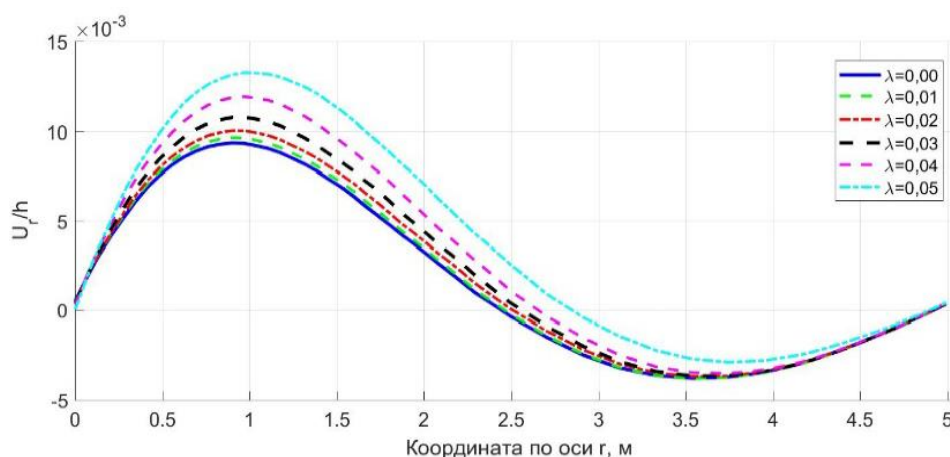


Рис. 5. Горизонтальные перемещения вдоль радиуса

со стороны приложения поперечной силовой нагрузки, которые приведены на рис. 2-5.

На рис. 2-5 показаны графики зависимости напряжений y_r и y_u по толщине оболочки от степени концентрации агрессивной водородо-

содержащей среды, а также графики прогибов и горизонтальных перемещений оболочки.

Сравнивая в программном комплексе MATLAB полученные решения по разработанной модели с результатами, полученными

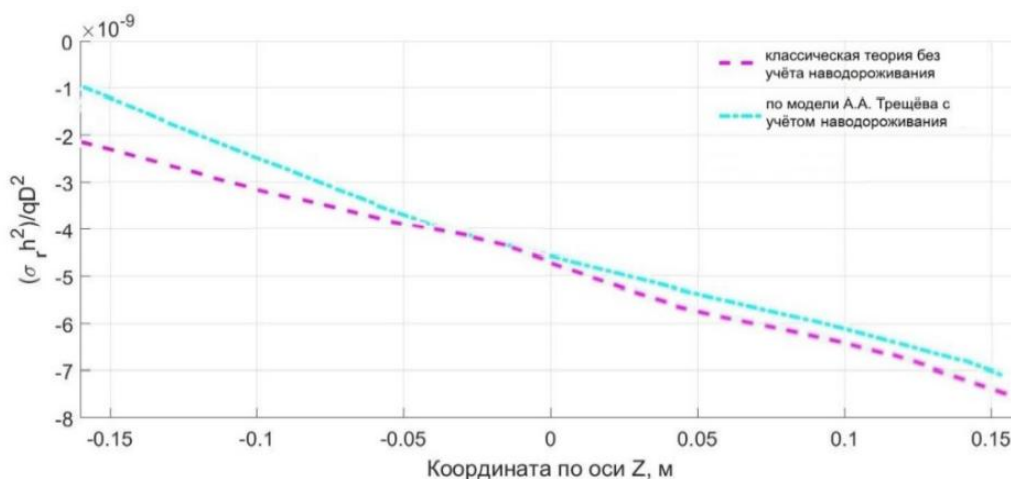


Рис. 6. Напряжения y_r в точке 1/2 диаметра оболочки (по толщине)

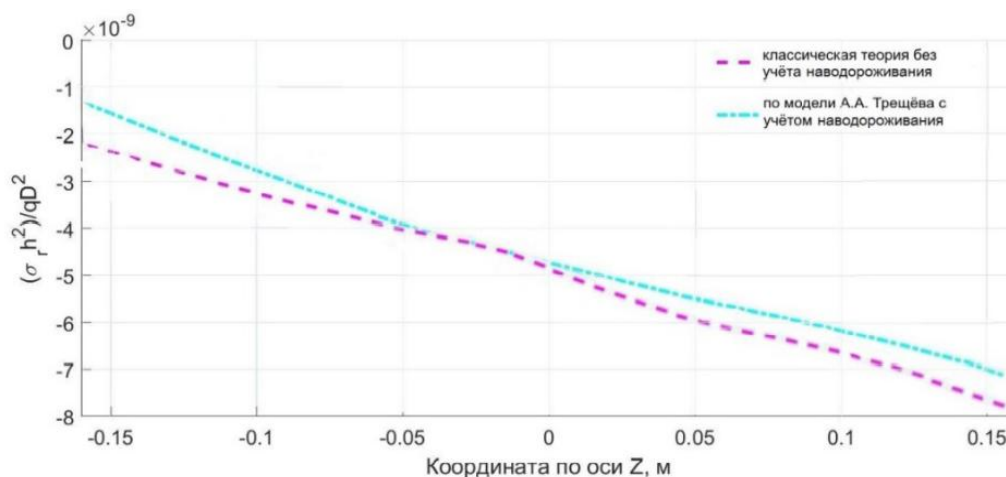


Рис. 7. Напряжения σ_r в точке 1/2 диаметра оболочки (по толщине)

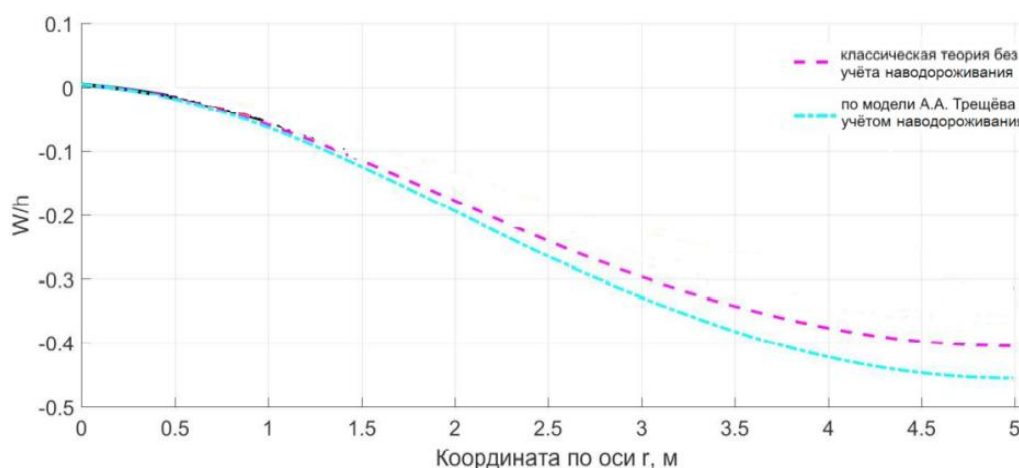


Рис. 8. Прогобы в оболочке

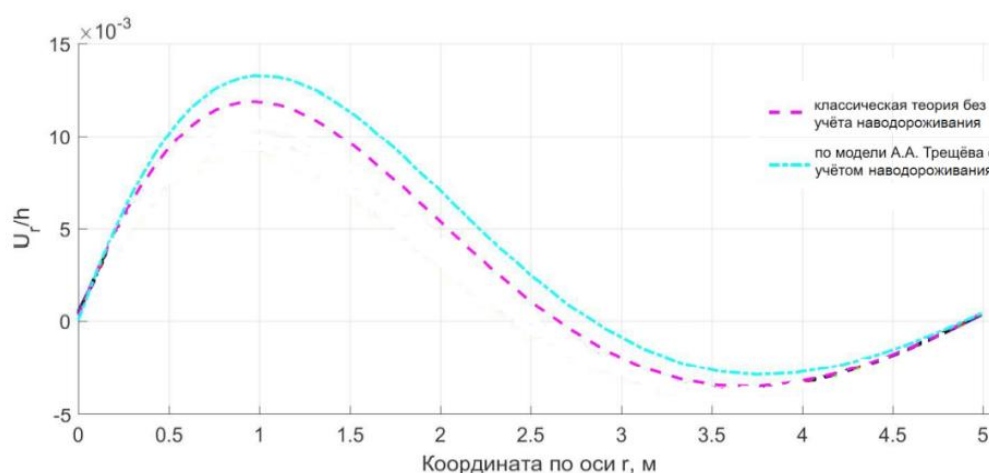


Рис. 9. Горизонтальные перемещения в оболочке

ми в теории И.Г. Овчинникова, делаем вывод, что результаты отличаются из-за не учёта в теории И.Г. Овчинникова влияния наводороживания при сложных видах напряжённого состояния.

Из рис. 6-9 видно, что расхождение значений максимальных прогибов и перемещений с учетом и без учета наводороживания значительное - 16,5 %, напряжений - до 50%,



что не допустимо, так как превышает предельное значение погрешности для строительных конструкций, равное 5%.

Многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют о необходимости разработки новых моделей, описывающих напряженно-деформированное состояние тел с учетом наведенной чувствительности свойств материалов к наводороживанию [14-16]. Учет воздействия водородной среды в данной работе построен на основе нелинейных определяющих соотношений, учитывающих наведенную чувствительность к наводороживанию в широком диапазоне изменения видов напряженного состояния.

Библиографический список

1. Астафьев В.И., Ширяева Л.К. Накопление поврежденности и коррозионное растрескивание металлов под напряжением. - Самара: Изд-во Самарский университет, 1998. - 123 с.
2. Баландин П.П. К вопросу о гипотезах прочности // Вестник инженеров и техников. - 1937. - №1. - С. 37-41.
3. Гервиц Г.Я. Влияние газонасыщения на статическую прочность титановых сплавов // ФХММ. - 1981. - №2. - С. 45-48.
4. Кириллова Л.А. Напряженно-деформированное состояние гибкой круглой пластины в водородосодержащей среде с учетом наведенной неоднородности. Дисс. к.т.н. - Саратов, 1990. - 163 с.
5. Колачев Б.А. Механические свойства титана и его сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, Л.А. Буханова. - М.: Металлургия, 1974. - 544 с.
6. Маркин А.А. К обоснованию теории оболочек // Работы по механике деформируемых сред. - Тула: ТПИ. - 1974. - С. 121-129.
7. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чэнь-Тао, Успанов А.М. Анализ экспериментальных данных по кинетике проникания сульфатосодержащих сред в железобетонные конструкции и влиянию их на механические характеристики компонентов железобетона. Часть 1. Эксперименты по изучению кинетики проникания // Интернет-журнал «Науковедение». - 2016. - Том 8. - № 1.
8. Овчинников И.Г. Кириллова Л.А., О деформировании гибкой круглой пластины из материала, чувствительного к водородному воздействию / Саратов. политехн. ин-т. - Саратов, 1989. - 15 с. Рукопись деп. в ВИНТИ 7 февраля 1990, № 698 - В90.
9. Овчинников И.Г. Модифицированная модель деформирования и разрушения материала, подвергающегося облучению // Строительная механика и расчёт сооружений. - 2014. - №1. - С. 29-35.
10. Овчинников И.Г. Анализ экспериментальных данных по влиянию водорода при нормальных температурах на механические свойства металлов и сплавов и построению модели взаимодействия конструктивных элементов с водородом. Ч.1. Проблема воздействия водорода на металлы и пути ее решения. Закономерности проникания водорода в конструктивные элементы / И.Г. Овчинников, А.Б. Рассада. - Саратов: Сарат. политехн. ин-т., 1989. - 28 с.
11. Петров В.В. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. - Саратов: Сарат. госуд. технич. ун - т, 1996. - 311 с.
12. Петров В.В., Кривошеин И.В. Методы расчёта конструкций из нелинейно-деформируемого материала. - М.: Изд-во АСВ, 2009. - 208 с.
13. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография. - М.; Тула; РААСН; ТулГУ, 2016. - 236 с.
14. Корнеев А.В. Учет влияния водородосодержащей среды на напряженно-деформированное состояние материалов на основе титановых сплавов / А.В. Корнеев, А.А. Трещев // Известия высших учебных заведений. Серия: Строительство. - 2009. - №3-4. - С. 23-29.
15. Корнеев А.В. Модель деформирования титановых сплавов в процессе насыщения водородом / А.В. Корнеев, А.А. Трещев // Известия ОрелГТУ. Строительство. Транспорт. - 2008. - №4/20. - С. 42-45.
16. Сергеева С.Б. Модель влияния газонасыщения на напряженно-деформированное состояние материалов / С.Б. Сергеева, А.В. Сычева, А.А. Трещев // Известия вузов. Строительство. - 1999. - №12. - С. 14-20.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



INFLUENCE OF CHANGING THE CONCENTRATION OF HYDROGEN DURING TIME ON THE STRUCTURE OF A SPHERICAL SHELL MADE OF TITANIUM ALLOY

© 2020 A.A. Treschev, V.O. Kuznetsova*

In this article, a mathematical model is constructed that describes the effect of changing the concentration of a hydrogen-containing medium on the stress-strain state of a thin flat spherical shell made of titanium alloy loaded with a uniformly distributed load. A nonlinear model presented in normalized stress spaces was used. The deflections of the shell are assumed to be large, and the fixing is rigid. An algorithm for solving the problem of hydrogenation of titanium alloy shells has been developed. The practical solution was made by a two-step method of successive parameter perturbations using MatLab and Maple application software packages. The finite difference method is used to solve the system of resolving differential equations. The obtained results are compared with the results of the classical theory and the theory of I.G. Ovchinnikov.

Keywords: flat shell, titanium alloy, finite differences, nonlinear deformation, isotropic material, large deflections.

Received for publication on 03.06.2020

* Treschev Alexander Anatolyevich - Corresponding Member of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Sciences, Professor; Kuznetsova Violetta Olegovna - Post-graduate student; both - Tula state University (Tula, Russia).



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНОГО КАРКАСНО-МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ*

© 2020 В.Н. Уткина, Е.С. Безрукова**

В статье рассматривается проблема учета последовательности возведения высотного здания. Выполнено моделирование процесса возведения и расчет высотного каркасно-монолитного здания гостиницы методом конечных элементов в ПК МОНОМАХ-САПР. Приведены результаты расчета конструкций.

Ключевые слова: высотное каркасно-монолитное здание, учет поэтапности возведения, напряженно-деформированное состояние конструкций, результаты МКЭ-расчета.

Проблема учета последовательности возведения зданий с каждым годом приобретает все большую актуальность. Пристальное внимание задаче исследования напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного изменения расчетных моделей уделяется на ежегодном Международном симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». Моделирование процесса возведения имеет особое значение для проектирования конструкций высотных зданий из монолитного железобетона.

Требования к обеспечению безопасности зданий и сооружений на всех стадиях жизненного цикла устанавливает Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Согласно закону «расчетные модели (в том числе расчетные схемы, основные предпосылки расчета) строительных конструкций и основания должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации».

Это требование находит отражение во многих нормативно-правовых документах. СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» рекомендует проектировать монолитные конструктивные системы с учетом их жизненного цикла и с учетом параметров долговечности, моделей разрушения и т.п. [1]. Аналогичные рекомендации предлагает СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»: расчет несущей конструктивной системы следует проводить для последовательных стадий возведения (при существенном изменении ситуации) и для стадии эксплуатации, принимая расчетные схемы, отвечающие рассматриваемым стадиям [2].

Как показывает анализ порядка возведения сооружений, здание, за исключением самых простых случаев, создается поэтапно (сначала возводится фундамент, затем - конструкции одного этажа за другим). При этом каждой стадии создания конструкции соответствует своя расчетная схема [3].

Существующая практика расчета основывается на проведении статических одноэтапных

* Работа представлена в качестве доклада на XI Академических чтениях РААСН - Международной научно-технической конференции «Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций», посвященной памяти первого Председателя Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» Почетного члена РААСН, д.т.н., профессора Зайцева Юрия Владимировича (Саранск, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», 2020 год).

** Уткина Вера Николаевна (uvn27@mail.ru) - кандидат технических наук, доцент; Безрукова Евгения Сергеевна - аспирант; обе - Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Саранск, РФ.



расчетов, когда жесткостные и геометрические характеристики, а также величина и характер приложения нагрузок на модель принимаются неизменными для всего процесса расчета.

В процессе возведения высотного здания или сооружения вместе с изменением его формы и размеров происходит изменение прилагаемых нагрузок, действующих на сооружение. При этом напряженно-деформированное состояние (НДС) возводимого здания или сооружения изменяется до тех пор, пока не сформируется окончательно после завершения строительства, причем конечное НДС отличается от того, которое получается при одновременном приложении всех действующих сил к уже возведенному сооружению [4].

В случае значительного изменения расчетной модели задача определения напряженно-деформированного состояния сооружения при учете последовательности возведения решается в генетически нелинейной постановке - одной из разновидностей геометрической нелинейности [5].

Во многих современных программных комплексах предусмотрена возможность моделирования процесса возведения конструкции путем использования специальных модулей «Монтаж» (ЛИРА, SCAD, МОНОМАХ, STARKES, ANSYS, LS-DYNA и др.) [см. 6].

В данной работе моделирование возведения и расчет здания осуществляется методом конечных элементов в программе КОМПОНОВКА программного комплекса МОНОМАХ САПР.

Объектом моделирования является высотное здание гостиницы, которое имеет в плане прямоугольную форму с максимальными размерами 51,3445,9 м и высоту 75,3 м (23 этажа). Конструктивная схема здания представляет собой каркас с диафрагмами жесткости из монолитного железобетона. Пространственная жесткость и устойчивость здания, а также восприятие внешних силовых воздействий обеспечивается совместной работой фундаментной плиты, несущих стен и колонн, плит перекрытий и покрытия.

Несущие конструкции выполнены из монолитного железобетона. Фундаментная плита - из бетона класса В40 W6 толщиной 1000 мм; стены подвала толщиной 400 мм, колонны прямоугольного и квадратного сечений от 500х500 до 1000х1000 мм, а также плиты перекрытий толщиной 250 и 300 мм и диафрагмы жесткости толщиной 200-400 мм - из бетона класса В35. Рабочая продольная арматура - А500С, конструктивная - А240.

Проектируемое высотное здание гостиницы и расчетная схема конструктивной системы показаны на рис. 1.

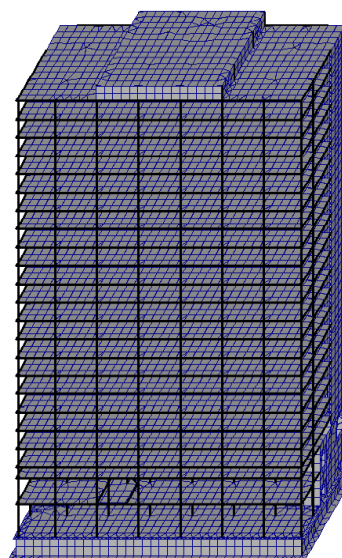


Рис. 1. Здание гостиницы и расчетная схема конструктивной системы



В ПК МОНОМАХ-САПР реализована возможность учета поэтапности возведения здания с выравниванием уровней перекрытий [7]. Для этого в окне «МКЭ расчет» необходимо указать номера тех этажей, которые входят в тот или иной этап. При этом собственный вес всегда прикладывается к элементам в момент их возведения; для остальных нагрузок постоянного нагружения рекомендуется указывать момент их появления. Нагрузки других нагружений прикладываются после возведения всего здания.

В рамках каждой монтажной стадии производится расчет той конструктивной системы здания, которая содержит относящиеся к этой стадии элементы и нагрузки. Посредством МКЭ-расчета вычисляются накапливаемые в процессе возведения усилия и напряжения для элементов. При расчете без учета возведения в колоннах верхних этажей здания могут возникать достаточно большие растягивающие усилия. Модуль «Монтаж» приравнивает к нулю перемещения узлов, добавляемых перед расчетом каждой новой стадии. Таким образом, перемещения узлов накапливаются с определенным выравниванием в процессе возведения, что дает более верную картину.

Были рассмотрены пять этапов возведения здания, на каждом из них учитывалось понижение прочности бетона конструкций и различное время приложения нагрузок от наружных стен:

❖ 1-й этап (с -2-го по 3-й этажи), прочность бетона составляет 0,3 от проектного значения, нагрузка от стен появляется после возведения 6-го этажа;

❖ 2-й этап (с 4-го по 8-й этажи), прочность бетона 1-го и 2-го этапа - 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен появляется после возведения 11-го этажа;

❖ 3-й этап (с 9-го по 13-й этажи), прочность бетона 1-го, 2-го и 3-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен появляется после возведения 16-го этажа;

❖ 4-й этап (с 14-го по 18-й этажи), прочность бетона 1-го этапа проектная, 2-го, 3-го и 4-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен появляется после возведения 21-го этажа;

❖ 5-й этап (с 19-го по 23-й этажи), прочность бетона 1-го и 2-го этапов проектная, 3-го, 4-го и 5-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения, нагрузка от стен появляется после возведения всего здания.

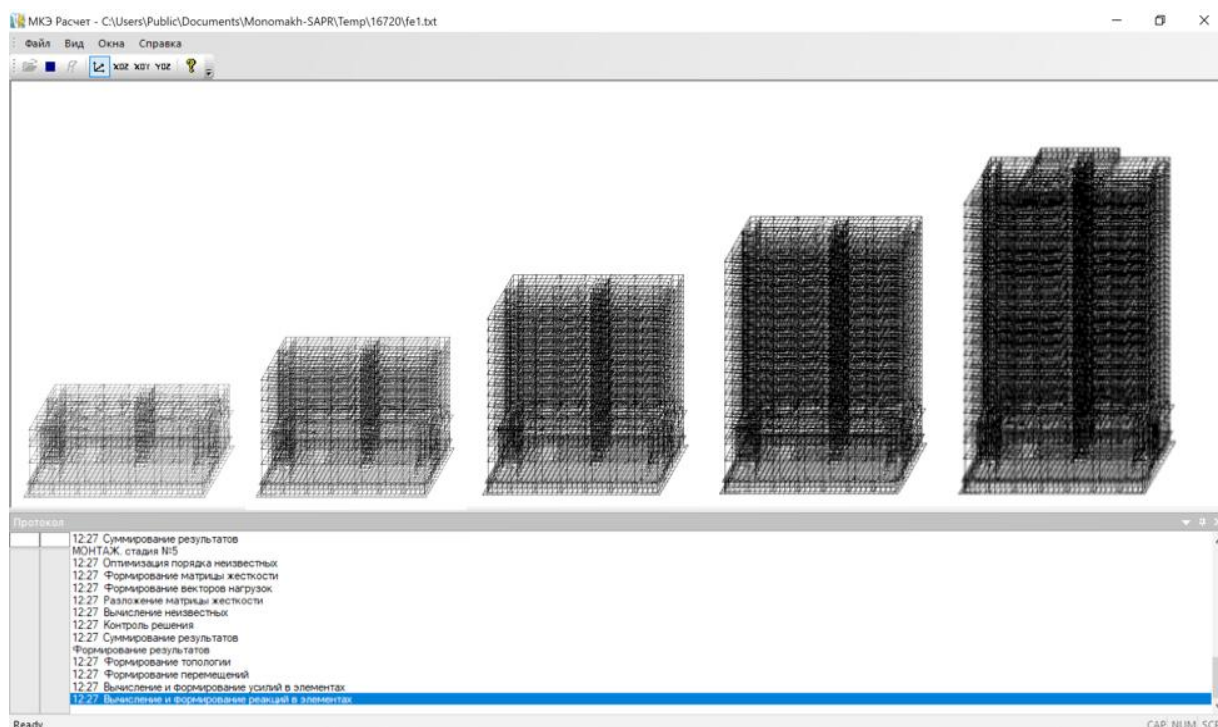


Рис. 2. Монтажные стадии в окне расчетного процессора



Монтажные стадии в окне расчетного процессора показаны на рис. 2.

Процесс возведения здания состоит из нескольких этапов, в рамках каждого из которых выполняется создание фрагмента конструкции путем наращивания от яруса к ярусу. При этом поэтапно формируется полная система, соответствующая проектному решению. На каждом из этапов возведения происходит замыкание локальной подсистемы конструк-

ции и некоторого предварительного напряженно-деформированного состояния, которое может влиять на итоговое состояние системы.

Главной особенностью работы системы несущих конструкций является факт наследования напряженно-деформированного состояния от этапа к этапу. Этим объясняется увеличение продольных усилий в колоннах (табл. 1) и изменение усилий в плитах (табл. 2 и 3).

Таблица 1. Продольные усилия в колоннах -1-го этажа

Номер колонны	Усилие в колоннеN, тс			
	Традиционная расчетная технология		Учет поэтапного возведения здания	
	min	max	min	max
2_2	-1522,02	-1507,02	-1530,89	-1515,89
2_3	-1397,63	-1382,63	-1408,71	-1393,71
2_5	-1495,16	-1480,16	-1510,79	-1495,79
2_8	-1423,23	-1408,23	-1456,62	-1441,62

Таблица 2. Перемещения и усилия в фундаментной плите

Параметр	Экстремальное значение усилия			
	Традиционная расчетная технология		Учет поэтапного возведения здания	
	min	max	min	max
Перемещение по оси Z, мм	-138,0	-125,0	-138,0	-124,0
$M_{x,(тс\cdot м)}/м$	-87,2	146,0	-85,8	140,0
$M_{y,(тс\cdot м)}/м$	-91,4	117,0	-90,7	118,0
$Q_x, тс/м$	-225,0	235,0	-225,0	238,0
$Q_y, тс/м$	-237,0	208,0	-236,0	218,0

Таблица 3. Перемещения и усилия в плитах перекрытий 15-го и 23-го этажей

Параметр	Экстремальное значение усилия			
	Традиционная расчетная технология		Учет поэтапного возведения здания	
	min	max	min	max
15-й этаж				
Перемещение по оси Z, мм	-167,0	-129,0	-160,0	-125,0
$M_{x,(тс\cdot м)}/м$	-7,40	5,12	-7,18	5,05
$M_{y,(тс\cdot м)}/м$	-6,36	4,19	-6,01	4,15
$Q_x, тс/м$	-27,9	32,7	-24,9	31,0
$Q_y, тс/м$	-68,7	118,0	-65,2	113,0
23-й этаж				
Перемещение по оси Z, мм	-170,0	-143,0	-159,0	-134,0
$M_{x,(тс\cdot м)}/м$	-4,53	2,92	-3,81	2,71
$M_{y,(тс\cdot м)}/м$	-4,53	2,13	-3,76	2,08
$Q_x, тс/м$	-4,02	4,39	-3,30	3,90
$Q_y, тс/м$	-21,9	8,46	-19,9	6,22



С ростом этажности происходит постепенное увеличение нагрузки на грунт и значений перемещений, перераспределение усилий в конструкциях, вызванное дополнительными деформациями нового этажа. Результаты для разных монтажных стадий представлены на рис. 3 и в табл. 4, 5.

При расположении диафрагм жесткости в середине рамы, вертикальные деформации колонн, примыкающих к диаф-

рагме, будут меньше, чем у крайних, ввиду большей их жесткости. Особую опасность представляют собой крайние ячейки каркаса, именно в них разность между продольными деформациями крайних и внутренней ближайшей колонны будет наибольшей. Внутри здания средние колонны работают практически в одинаковых условиях и их продольные деформации мало отличаются.

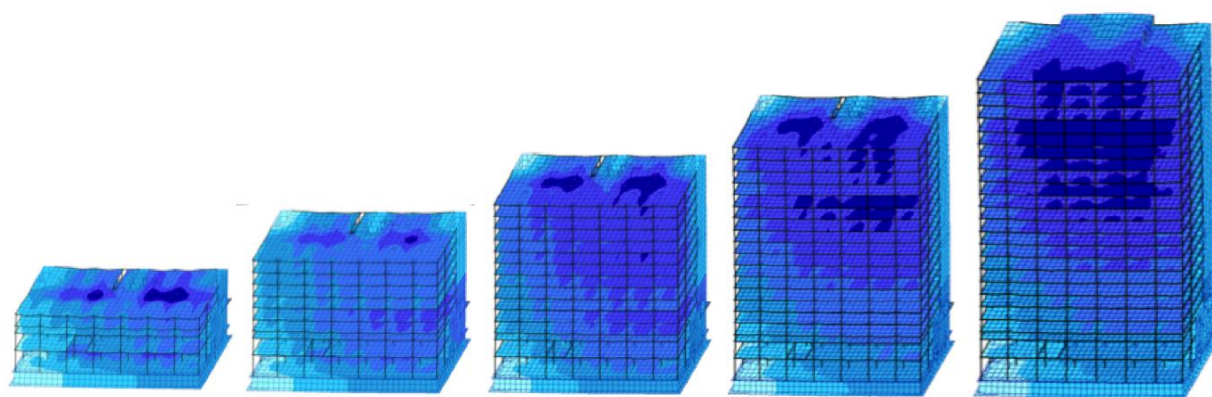


Рис. 3. Деформированная схема и изополя перемещений по оси Z на всех монтажных стадиях

Таблица 4. Перераспределение усилий в наиболее нагруженных колоннах подвала от постоянной нагрузки

Усилие	Колонна 2_8					Колонна 2_10				
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5
$M_y, \text{тс}\cdot\text{м}$	-6,63	-6,93	-7,52	-7,85	-6,92	-6,73	-7,26	-8,18	-8,87	-8,58
	9,48	9,51	11,9	12,36	10,68	9,43	9,97	12,98	14,36	14,66
$M_z, \text{тс}\cdot\text{м}$	-3,16	-4,88	-8,11	-10,08	-13,73	-1,01	-1,33	-2,49	-2,77	-4,22
	3,89	6,01	10,25	12,66	17,41	1,86	2,66	4,57	5,72	8,41
N, тс	-274,6	-623,7	-961,8	-1265	-1444	-274,2	-614,0	-942,8	-1224	-1363
	-259,6	-608,7	-946,8	-1250	-1429	-259,2	-599,0	-927,8	-1209	-1348

Таблица 5. Изменение экстремальных значений моментов, усилий и перемещений на всех стадиях монтажа

Усилие от постоянной нагрузки	Модель здания				
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5
$M_x, (\text{тс}\cdot\text{м})/\text{м}$	-20,2	-39,3	-53,6	-69,1	-84,8
	32,2	61,6	81,5	105,0	141,0
$M_y, (\text{тс}\cdot\text{м})/\text{м}$	-18,9	-38,7	-56,3	-73,7	-89,4
	26,6	50,5	75,3	99,0	116,0
$Q_x, \text{тс}/\text{м}$	-50,2	-97,2	-143,0	-190,0	-224,0
	55,1	106,0	157,0	206,0	237,0
$Q_y, \text{тс}/\text{м}$	-84,0	-124,0	-175,0	-194,0	-236,0
	60,9	99,2	145,0	186,0	219,0
Перемещение по оси Z, мм	-18,2	-40,8	-67,9	-97,8	-124,0
	-34,6	-66,4	-104,0	-149,0	-185,0



Анализируя результаты расчета модели здания с учетом поэтапного возведения, отмечаем различия с теми значениями, которые получены при МКЭ-расчете по традиционной технологии.

Экстремальные значения вертикальных перемещений по оси Z для плит перекрытий снижаются. Это обусловлено уменьшением осадки нижележащих опор при учете процесса монтажа. В традиционной постановке задачи перемещения увеличивались за счет сложения нагрузок от всех конструкций сразу. При учете монтажа нагрузки суммируются постепенно, осадки по каждому этажу становятся меньше, что дает в конечном результате разницу по перемещениям на верхних этажах.

Незначительно изменились величины усилий для фундаментной плиты и колонн нижнего этажа. Однако на различных стадиях монтажа усилия в колоннах значительно отличаются. Добавляется нагрузка от вышележащих этажей, что увеличивает продольные сжимающие усилия и моменты.

Таким образом, сравнительный анализ результатов показывает, что при моделировании здания с учетом возведения наблюдается несколько иная картина распределения напряжений и усилий, разница в результатах при двух способах расчета незначительна на нижних этажах, но по мере увеличения высоты здания она возрастает. Для объектов высотного строительства расчет с учетом поэтапного возведения необходим. Он позволит инженерам правильно оценить напряженно-деформированное состояние и

реальную работу конструкций, что может привести к экономии бетона и арматуры при их проектировании.

Библиографический список

1. СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. - М.: Минстрой России, 2018. - 64 с.
2. СП 267.1325800.2016 Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. - М.: Минстрой России, 2016. - 122 с.
3. Перельмутер А. В. Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой / А.В. Перельмутер, О.В. Кабанцев. - М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ, 2015. - 148 с.
4. Рудых О.Л. Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения / О.Л. Рудых // Вестник ИргТУ, 2010. - № 1 (41). - С. 239-244.
5. Мкртычев О.В. Анализ изменения усилий в конструкциях при учете стадийности возведения / О.В. Мкртычев, М.И. Андреев, Д.С. Сидоров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2018. - № 14 (4). - С. 293-298.
6. Уткина В.Н. Исследование устойчивости конструктивной системы высотного общественного здания в программных комплексах ЛИРА-САПР и STARKES / В.Н. Уткина, Е.С. Безрукова // Эксперт: теория и практика. - 2020. - № 3 (6). - С. 69-73. DOI 10.24411/2686-7818-2020-10028
7. Городецкий А.С. МОНОМАХ-САПР - программный комплекс для автоматизированного проектирования железобетонных и армокаменных конструкций многоэтажных каркасных зданий / А.С. Городецкий, А.А. Лазарев // Новые компьютерные технологии. - 2011. - № 1 (9). - С. 38-41.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.



MODELING OF THE CONSTRUCTION PROCESS OF A HIGH-RISE FRAME-MONOLITHIC BUILDING

© 2020 V.N. Utkina, E.S. Bezrukova*

The article deals with the problem of accounting for the sequence of a high-rise building. Modeling of the construction process and calculation of a high-rise frame-monolithic hotel using the finite element method in the PC MONOMAKH-CAD is performed. The results of the calculation of structures are presented.

Keywords: high-rise frame-monolithic building, taking into account the stages of construction, stress-strain state of structures, results of the FEM-calculation.

Received for publication on 03.06.2020

* Utkina Vera Nikolaevna - Candidate of technical, Associate Professor, Bezrukova Evgenia Sergeevna - Postgraduate; both - Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Для публикации в научном журнале “ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА” принимаются статьи, соответствующие научным требованиям, общему направлению журнала и представляющие интерес для достаточно широкого круга российской и зарубежной научной общественности.

Предлагаемый в статье материал должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных и электронных изданиях, написанный в контексте современной научной литературы, а также содержать очевидный элемент создания нового знания.

Все представленные статьи проходят проверку в программе “Антиплагиат” и направляются на независимое (внутреннее) рецензирование. Решение о публикации принимается редколлегией на основе рецензии.

Правила оформления

Текст статьи

Статья представляется на русском или английском языках в печатном виде (формат А4) и/или электронном виде (e-mail: expert763@mail.ru).

Перед заглавием статьи проставляется шифр УДК.

Название работы, список авторов в алфавитном порядке (ФИО, место работы, индекс и адрес места работы, должность, e-mail), аннотация, ключевые слова должны быть представлены на русском и английском языках.

Текст должен быть набран в текстовом редакторе Word для Windows с расширением doc или rtf гарнитурой Times New Roman 14 кеглем через 1,5 интервала.

Объем основного текста не должен превышать 8-9 страниц.

Рисунки и таблицы предполагают наличие названия и сквозную нумерацию.

Библиографический список оформляется с ГОСТ 2018, 2019 по порядку цитирования после основного текста. Допускается не более 20 источников.

Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках, например [17, с. 27]. Ссылка на иностранные источники приводятся на языке оригинала.

Графика

Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формат TIF.

Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран гарнитурой Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы.

Формулы

Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).

В статье приводятся лишь самые главные, итоговые формулы. Набор формул приводится в редакторе формул Microsoft Equation с параметрами: обычный - 14, крупный индекс - 9, мелкий индекс - 7, крупный символ - 20, мелкий символ - 14.

Вставка в текст статьи формул в виде графических объектов недопустима.

Все использованные в формуле символы следует расшифровать.

Статьи, оформленные не по правилам, редколлегией рассматриваться не будут.

*Редколлегия журнала
“Эксперт: теория и практика”*

Для записей

Научно-практический журнал

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 4 (7) 2020 г.

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

Материалы представлены в авторской редакции

Компьютерная верстка О.В. Егоровой
Дизайн обложки https://vk.com/ann_sarachai

Дата выхода в свет 16.06.2020. Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ. л. 10,58 (11,38). Уч.-изд. л. 9,63. Тираж 1000 экз. Первый завод 100 экз.
Распространяется бесплатно. Заказ № 180.

Издатель - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, д. 35А, оф. 401.

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО "СГЭУ".
443090, Самарская область, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141.

Scientific and Practical Journal

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 4 (7) 2020

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

Approved for publication 16.06.2020. Format 60x84/8. Offset paper.
Offset printing. Printed signatures 10,58 (11,38). Publisher's signatures 9,63.
Circulation 1000 copies.

Publishing house INO "IFCTE".
445047, office 401, the house 35A, Southern Highway,
Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru.

Printed in the Printing House of Samara State University of Economics.
443090, Samara, ulitsa Sovetskoi Armii, 141.