

Редакционный совет:

Пилипенко О.В. д-р техн. наук., проф.,
председатель
Голенков В.А. д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя
Пузанкова Е.Н. д-р пед. наук, проф.,
зам. председателя
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
секретарь
Авдеев Ф.С. д-р пед. наук, проф.
Астафьев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Желтикова И.В. канд. филос. наук, доц.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук., проф.
Зомитова Г.М. канд. экон. наук, доц.
Колчунов В.И. д-р техн. наук., проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Косыкин А.В. д-р техн. наук., проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук., проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук., проф.
Уварова В.И. канд. филос. наук., доц.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. канд. техн. наук, доц.
Колесникова Т.Н. д-р арх., проф.
Коробко В.И. д-р техн. наук, проф.

Редакция:

Бок Т. д-р техн. наук., проф. (Германия)
Бондаренко В.М. акад. РААСН,
 д-р техн. наук, проф. (Россия)
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. чл.-корр. РААСН,
 д-р техн. наук, проф. (Россия)
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д-р техн. наук,
 проф. (Россия)
Коробко А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
 проф. (Россия)
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
 проф. (Россия)
Сергейчук О.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Серпик И.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тамразян А.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тур В.В. д-р техн. наук., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Федоров В.С. акад. РААСН, д-р техн. наук,
 проф. (Россия)
Федорова Н.В. советник РААСН,
 д-р техн. наук, проф. (Россия)
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д-р техн. наук,
 проф. (Россия)
Шах Р. д-р техн. наук, проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Савин С.Ю. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
 Тел.: +7 (4862) 73-43-49
 www.build.oreluniver.ru
 E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Подписной индекс **86294** по объединенному
 каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017

Содержание

Колонка главного редактора	3
Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции	
Демьянов А.И., Покусаев А.А., Колчунов В. И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом	5
Конин Д.В., Одесский П.Д., Олуромби А.Р. Влияние диаграммы «б-ε» на несущую способность при сжатии труб из стали высокой прочности	15
Коробко А.В., Балихина Ю.Е. Определение приведенной геометрической жесткости кручения для сечений в форме фигур, промежуточных между кругом и правильным многоугольником	21
Косауров А. П. Уточнение исходной сейсмичности района керченского пролива	27
Кривошапко С.Н. Применение коноида и цилиндроида при формообразовании зданий и сооружений оболочечного типа	34
Орлов Р.Б., Чакалиди В.Х., Беспалов В.В. Усиление сжатых и сжато-изгибаемых каменных элементов сетками из композитных материалов	45
Рощина С.И., Рязанов М.А., Шишов И.И., Репин В.А. Теоретическое и экспериментальное определение прогибов ребристых плит в составе сборно-монолитного покрытия промышленного здания	50
Уткин В.С., Соловьев С.А. Расчет надежности металлических балок с учетом снижения (деградации) жесткости опорных креплений на стадии эксплуатации	58
Хоехано Э., Гбагуиди-Ауссе Ж., Танкпино Кики И., Джоссо А., Хонган А.К., Деган Ж. Влияние применения коровьего навоза на прочность грунтовых образцов при сжатии	67
Безопасность зданий и сооружений	
Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Борков П.В. Повышение транспортно-эксплуатационного состояния элементов мостовых конструкций	81
Архитектура и градостроительство	
Хомяков А.И. Повествование в пространстве: эволюция отечественных мемориально музейных комплексов	86
Строительные материалы и технологии	
Белов В.В., Куляев П.В. Теоретическое обоснование оптимальных зерновых составов композиционных материалов с минеральными наполнителями	94
Горячева В.А., Христофоров А.И., Христофорова И.А. Полимербетоны на основе поливинилхлорида, модифицированного силановыми добавками	102
Клычников Р.Ю., Езерский В.А., Монастырев П.В. Оптимизация термомодернизации группы жилых зданий в различных макроэкономических условиях	108
Кочергин Ю.С., Попова О.С., Григоренко Т.И. Свойства эпоксидных полимеров, наполненных нанопорошками диоксида циркония	123
Рецензия на учебное пособие «Железобетонные и каменные конструкции. Специальный курс»	131

Contents

Editor-in-chief topic.....3

Theory of engineering structures. Building units

Dem'yanov A.I., Pokusaev A.A., Kolchunov V.I. The experimental studies of reinforced concrete constructions under the action torsion with bending	5
Konin D.V., Odesskiy P.D., Olurombi A.R. Influence of stress-strain curve on the stability of high-strength steel pipes	15
Korobko A.V., Balikhina Y.E. The definition of the geometric torsional rigidity for sections in the shape of the figure intermediate between a circle and a regular polygon	21
Kosaurov A.P. Seismic hazard assessment of the kerch strait area	27
Krivoshapko S.N. The application of conoid and cylindroid in forming of buildings and structures of shell type	34
Orlovich R.B., Chakalidi V.Ch., Bepalov V.V. Strengthening of masonry elements with composite mesh under compression and compression combined with bending	45
Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Shishov I.I., Repin V.A. Theoretical and experimental determination of ribbed plates deflection as a part of precast covering of an industrial building	50
Utkin V.S., Solovyev S.A. Reliability analysis of existing steel beams with reduction (degradation) of the rigidity of the support	58
Houehanou E., Gbaguidi-Aisse G., Tankpinou Kiki Y., Djossou A., Houngan A. C., Degan G. Influence of the use of the dung of cow on the compressive strength of mortars of bar ground	67

Building and structure safety

Bondarev B.A., Bondarev A.B., Borkov P.V. Increase of the transport and operational state of elements of bridge structures	81
---	----

Architecture and town-planning

Khomyakov A.I. Narration in space: the evolution of native memorial and museum complex	86
---	----

Construction materials and technologies

Belov V.V., Kulyaev P.V. Theoretical substantiation of optimum grain compositions of composite materials with mineral fillers	94
Goryacheva V. A., Christoforova I. A., Christoforova I. A. Polymer concrete based on polyvinyl chloride modified with additives wilanowie	102
Klychnikov R.YU., Ezersky V.A., Monastyrev P.V. Optimization of thermomodernization of a group of residential buildings in different macroeconomic conditions	108
Kochergin YU.S., Popova O.S., Grigorenko T.I. Properties of epoxy polymers nanoporosity filled with zirconium dioxide	123

Review of the book "Reinforced concrete and masonry structures. Special course"	131
--	-----

Editorial council:

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.,
President
Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Puzankova E.N. Doc. Sc. Ped., Prof.,
Vice-president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Docent, Secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Avdeyev F.S. Doc. Sc. Ped., Prof.
Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Koskin A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.
Uvarova V.I. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zheltikova I.V. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zomiteva G.M. Candidate Sc. Ec., Docent

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Docent.
Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.
Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)
Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Tamrazyan A.G. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)
Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorova N.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Savin S.Yu. Candidat Sc. Tech

The edition address:

302006, Orel, Moskovskaya Street, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.build.oreluniver.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for
monitoring communications, information tech-
nology and mass communications

The certificate of registration:

ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»
86294

© Orel State University, 2017

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

3 ноября 2017 года на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технологический университет» (БГИТУ) было проведено общее собрание Центрального территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук (ЦТО РААСН), в котором приняли участие ведущие ученые в области строительства и архитектуры практически из всех областей Центрального федерального округа РФ и г. Москва (рисунок 1). Информационную поддержку собранию оказали научные журналы «Строительство и реконструкция» и «Биосферная совместимость: человек, регион, технологии», в которых только за последний год опубликовано 23 статьи членов ЦТО РААСН.



Рисунок 1 - Участники собрания ЦТО РААСН. В первом ряду слева направо: Г.Н. Соболева, В.Е. Румянцева, Е.М. Чернышов, В.А. Гордон, С.В. Федосов, В.И. Травуш, В.И. Колчунов, В.А. Егорушкин, В.Л. Мондрус, П.А. Акимов, В.С. Лесовик, М.В. Акулова, А.М. Болдырев. Во втором ряду слева направо: С.П. Кудрявцев, П.В. Монастырев, В.В. Белов, А.А. Трещев, С.Г. Парфенов, В.И. Леденев.

На собрании был рассмотрен отчет председателя ЦТО РААСН, академика В.И. Колчунова, об итогах деятельности отделения за 2017 год. Выступили вице-президент РААСН, академик В.И. Травуш (рисунок 2) и главный ученый секретарь РААСН, академик П.А. Акимов с докладами об основных направлениях работы РААСН в 2018 г. и задачах территориального отделения РААСН, председатель экспертного совета по строительству и архитектуре ВАК при Минобрнауки РФ, член-корреспондент РААСН В.Л. Мондрус с докладом о привлечении ученых РААСН к организации экспертизы при подготовке научных кадров высшей квалификации отрасли. В рамках собрания было организовано заседание круглого стола с обсуждением основных научно-творческих мероприятий ЦТО РААСН в 2018 году и вопросов, связанных с созданием представительств ЦТО в городах Центрального федерального округа. Состоялась дискуссия на тему: «Безопасность городов завтра – предмет образования сегодня», обсуждены вопросы участия членов ЦТО РААСН в образовательной и экс-

партной деятельности при подготовке специалистов высшей квалификации, в особенности по архитектурным научным специальностям. Выступили академик РААСН Е.М. Чернышов, академик РААСН С.В. Федосов, член-корреспондент РААСН В.С. Лесовик, руководитель отдела региональных структур Академии, советник РААСН С.П. Кудрявцев, советник РААСН В.А. Егорушкин, первый заместитель директора Департамента строительства и архитектуры Брянской области А.Н. Мешков



Рисунок 2 – Выступление вице-президента РААСН, академика В.И. Травуша на собрании ЦТО

Уверен, что проведение общего годовичного собрания ЦТО РААСН в БГИТУ будет содействовать дальнейшему развитию творческих связей РААСН и БГИТУ с администрацией города Брянска и Брянской области, а также с профильными проектными и производственными организациями строительного комплекса региона в решении задач высококачественной подготовки кадров, развития и внедрения инноваций. С письмом благодарности за проделанную работу к ректору БГИТУ В.А. Егорушкину, а также сотрудникам университета, принявшим участие в организации и проведении общего собрания ЦТО РААСН обратился президент РААСН, академик А.В. Кузьмин

Председатель ЦТО РААСН, академик РААСН,
Главный редактор журнала
«Строительство и реконструкция»
В.И. Колчунов

УДК 624.012.045

ДЕМЬЯНОВ А.И., ПОКУСАЕВ А.А., КОЛЧУНОВ Вл. И.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ

Предложена программа и методика экспериментальных исследований железобетонных конструкций при кручении с изгибом, основной целью которой является проверка расчетных предпосылок и экспериментального определения расчетных параметров предлагаемой методики расчета. Особое внимание уделено определению уровней трещинообразования и ширине раскрытия пространственных трещин в железобетонных конструкциях, подверженных кручению с изгибом.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, сопротивление кручению с изгибом, нагрузки и уровни трещинообразования, ширина раскрытия пространственных трещин, экспериментальная проверка расчетной модели.

Постановка проблемы. Сложное сопротивление – кручение с изгибом испытывает значительный объем железобетонных конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений. При проектировании несимметричных высотных зданий в сложных инженерно-геологических условиях на кручение с изгибом работают практически все несущие железобетонные конструкции.

Кроме вышеперечисленных случаев, в любом конструктивном элементе, работающем на изгиб, возникает кручение за счет случайного эксцентриситета, обусловленного асимметрией сечения, неоднородностью материалов или внецентренным приложением вертикальной нагрузки. Неучет кручения в практических расчетах, может привести к обрушению отдельных конструкций, а в некоторых случаях и всего здания. Обследованиями, проведенными в США, Канаде и др. странах ассоциацией портландцемента, выявлено целый ряд случаев аварий, связанных с кручением.

Существует целый класс конструкций (балки с боковыми консолями, краевые балки, наклонные арки, Г-образные рамы при действии ветровой нагрузки, опоры ЛЭП при одностороннем обрыве проводов и т.п.), работающих при совместном действии кручения с изгибом.

Анализ достижений и публикаций. Пространственные трещины, возникающие при сложном сопротивлении трещинообразованию [1–4] в железобетонных конструкциях сами по себе явления достаточно сложные, процесс развития которых, при совместном действии кручения с изгибом, еще более усложняется.

Проведенные лишь в отдельных случаях с ограниченным количеством изучаемых параметров, экспериментальные исследования трещиностойкости железобетонных конструкций при сложном сопротивлении – кручении с изгибом [5–7], показывают, что на сегодняшний день практически отсутствуют фактические данные о напряженно-деформированном состоянии и координатах появления пространственных трещин, не изучены возникающие при этом эффекты, связанные с нарушением сплошности железобетона.

Практически отсутствуют опытные данные о длине и приращении трещин при увеличении нагрузки. Несмотря на этот факт, отмеченные параметры являются определяющими для анализа сопротивления областей, прилегающим к местам пересечения трещинами рабочей арматуры, где, как показали последние исследования [7, 8, 9 и др.], возникает деформационный эффект (эффект нарушения сплошности).

Влияние такого эффекта на равновесие усилий в поперечном сечении по результатам исследований проф. В.М. Бондаренко, Вл. И. Колчунова [7], может составлять около 40%.

Это становится особенно актуальным, когда речь идет о таком дифференциальном параметре, как образование и ширина раскрытия пространственных трещин.

Проведение экспериментальных исследований [9] позволит заметно уточнить зависимости для определения основных параметров образования и ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций, в частности, – обобщенную нагрузку образования различных пространственных трещин $R_{sup,crc}$, разрушающую нагрузку $R_{sup,u}$ и координаты их образования. С другой стороны, полученная информация из физического эксперимента может дать более полное представление об особенностях сопротивления железобетонных конструкций в целом.

Исследовательская часть. Цель и задачи эксперимента. Экспериментальные исследования проводятся *с целью* проверки предлагаемой расчетной модели, положенных в ее основу рабочих предпосылок и выявления закономерностей многоуровневого процесса трещинообразования и ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций, подверженных кручению с изгибом.

Экспериментальное определение основных параметров, с учетом деформационного эффекта (эффекта нарушения сплошности) и его анализа на различных стадиях нагружения, будет способствовать в дальнейшем эффективному проектированию железобетонных конструкций.

В процессе подготовки и проведения экспериментальных исследований при действии изгиба с кручением, решались нижеприведенные **задачи**:

1) разработка и усовершенствование методики проведения экспериментальных исследований по образованию, ширине раскрытия пространственных трещин железобетонных конструкций;

2) проверка предлагаемой расчетной методики по уточненному расчету образования, ширины раскрытия пространственных трещин железобетонных конструкций по пространственным сечениям с учетом деформационного эффекта;

3) изучение закономерностей напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при сложном сопротивлении – кручения с изгибом;

4) экспериментальное определение следующих основных параметров: значения опорной реакции $R_{sup,crc}$ в момент образования различных пространственных трещин; координат x и y их образования, – расстояние по горизонтали x и по вертикали y от опорной реакции и от геометрической оси, соответственно, значения разрушающей нагрузки, $R_{sup,u}$; высоты сжатого бетона над наклонной трещиной x_B в сечении I–I (поперечное сечение, проходящее в конце пространственной трещины), фактической высоты сжатой зоны x_{fact} ; прогибов; ширины раскрытия трещин на уровне оси продольной и поперечной растянутой арматуры вдоль всего профиля пространственных трещин; изменения расстояния между трещинами l_{crc} и длины трещин h_{crc} по мере увеличения нагрузки (с проверкой многоуровневого процесса образования трещин); средних деформаций арматуры в расчетных сечениях и деформаций сжатого бетона.

Опытные образцы и их конструкции. Программа экспериментальных исследований включала лабораторные испытания трех серий железобетонных конструкций, подверженных кручению с изгибом. Объем и основные параметры экспериментальных конструкций приведены в таблице 1 на рис. 1 – 3. Количество испытываемых конструкций принято с учетом варьирования класса основного бетона образцов, их длины и плеча приложения нагрузки (до точки приложения силы траверсы до половины ширины образца).

Для доведения до разрушения второй части опытной конструкции, использовались специальные стяжки, состоящие из шпилек и металлических пластин.

Механические характеристики арматуры определялись в соответствии с действующими стандартами. При этом было испытано по пять стержней длиной 400 мм каждого диаметра ($\varnothing 16A400C$, $\varnothing 10A400C$, $\varnothing 6A240C$).

Фактическая физическая (условная) граница текучести для арматурных стержней составила: для арматурных стержней периодического профиля $A400C\varnothing 10\text{мм}$ – 420,76 МПа, $A400C\varnothing 16\text{мм}$ – 426,17 МПа, для гладкой арматуры $A240C\varnothing 10\text{мм}$ – 260,64 МПа, $A240C\varnothing 6\text{мм}$ – 253,61 МПа.

Таблица 1 – Серии, объем и характеристики основных экспериментальных конструкций*

№ се- рии	Шифр конструкции	Кол-во испы- таний	h , мм	b , мм	l , мм	Плечо приложе- ния нагрузки (от половины ширины образ- ца до точки приложения си- лы травер- сы), мм	Арматура растянутой зоны, диаметр – мм, класс	Арматура сжатой зоны, диаметр – мм, класс	Класс бетона основ- ного образ- ца
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
I	ИК –I–1,8(1)	2	250	100	1800	360	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –I–1,8(2)	2	250	100	1800	360	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –I–1,8(3)	2	250	100	1800	360	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –I–1,8(4)	2	250	100	1800	360	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
II	ИК –II–1,6(1)	2	250	100	1600	320	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –II–1,6(2)	2	250	100	1600	320	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –II–1,6(3)	2	250	100	1600	320	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –II–1,6(4)	2	250	100	1600	320	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
III	ИК –III–1,2(1)	2	250	100	1200	290	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –III–1,2(2)	2	250	100	1200	290	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –III–1,2(3)	2	250	100	1200	290	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20
	ИК –III–1,2(4)	2	250	100	1200	290	2Ø10A400C	2Ø10A400C	B20

*Примечание. Шифр конструкции включает: **И** – изгиб, **К** – кручение, номер серии, 1,8; 1,6; 1,2 – длина конструкции. Арматура поперечных хомутов Ø6A240C.

Значения механических характеристик арматурной стали приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические характеристики арматурной стали экспериментальных образцов

Диаметр, класс арматуры	N образца	A_s , см ²	P_u , тс	Физическая (условная) граница текучести, σ_{su} ($\sigma_{0,2}$), МПа
1	2	3	4	5
круг A240CØ6,5мм	1	0,332	0,842	253,61
	2	0,332	0,846	254,82
	3	0,332	0,839	252,71
Среднее		0,332	0,842	253,61
A240CØ10мм	1	0,785	2,101	267,64
	2	0,785	2,053	261,53
	3	0,785	1,985	252,87
Среднее		0,785	2,046	260,64
A400CØ10мм	1	0,785	3,326	423,69
	2	0,785	3,294	419,62
	3	0,785	3,288	418,85
Среднее		0,785	3,303	420,76
A400CØ16мм	1	2,01	8,492	422,49
	2	2,01	8,624	429,05
	3	2,01	8,582	426,97
Среднее		2,01	8,566	426,17

Изготовление опытных конструкций осуществлялось в лаборатории строительных конструкций кафедры Промышленного и гражданского строительства Юго-западного государственного университета (г. Курск). Все образцы были изготовлены за две бетонировки. Состав бетонов (по весу) приведен в таблице 3. При этом использовался щебень крупностью

5-10 мм. Фракции просеивались в лаборатории строительных материалов перед бетонировкой строго по ситам. Бетонированию предшествовала лабораторная проверка расчетных составов и их корректировка.

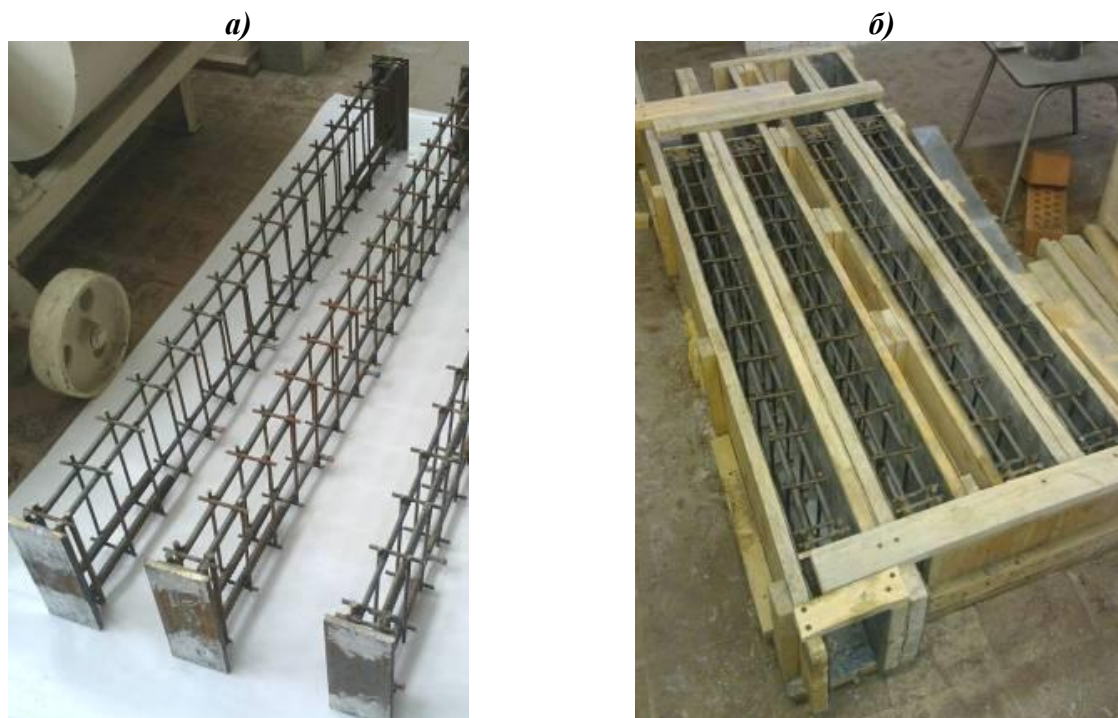


Рисунок 1 – Конструкции каркасов (а) и опалубочные формы с каркасами (б)

Для определения прочностных и деформативных характеристик бетона в возрасте 28 суток и в момент испытаний одновременно с основными железобетонными конструкциями изготавливались вспомогательные бетонные образцы из бетонов того же состава: бетонные призмы сечения $100 \times 100 \times 400$ – 12 шт. и кубы $100 \times 100 \times 100$ – 12 шт.

При этом средняя фактическая прочность кубов бетона на сжатие в соответствии с ГОСТ 10180–90 составила: для образцов всех серии 24,86 МПа.

Для призм сплошного сечения фактическая прочность бетона на сжатие составила: для проектного класса бетона В20 – 19,47 МПа. Переход к нормативным характеристикам позволяет получить нормативную призмную прочность.

Для проектного класса бетона В20 она составляет 11,54 МПа. Переход к расчетным характеристикам позволяет получить расчетную призмную прочность.

Таблица 3 – Состав бетона опытных образцов

Класс бетона	\bar{R} , МПа	В:Ц	Марка це- мента	Расход материала на 1 м ³ бетона в кг				Осадка ко- нуса, см
				цемент	песок	щебень	вода	
В20	24,86	0,63	М400	329	734	1115	202	6–8

Фактическая прочность бетона на растяжение составила: для проектного класса бетона В20 – 1,55 МПа. Нормативная прочность бетона на растяжение составила: для проектного класса бетона В20 – 1,32 МПа.

Начальный модуль упругости бетона для проектного класса бетона В20 составили $2,72 \times 10^4$ МПа.

Полученные характеристики бетонов и арматуры удовлетворяют требуемым условиям, согласно которым выполняется разделение опытных железобетонных образцов на три серий в соответствии с табл. 1.

Конструкции каркасов и опалубка для бетонирования основных образцов приведена на рис. 1. Она включает четыре деревянные формы, покрытые жстью.

Методика проведения эксперимента. Испытательная установка позволяет реализовывать намеченную схему нагружения с заданной длиной и варьированием плеча приложения нагрузки (рис. 2). Железобетонные конструкции образцов испытываются в горизонтальном положении (со свободным доступом к растянутой зоне), что позволяет детально изучить картину образования, развития и раскрытия трещин.

Размещение механических приборов показано на рис. 3. Здесь же показаны зоны установки электротензорезисторов базой 20 мм.

Учитывая, что исследования такого дифференциального параметра, как ширина раскрытия трещин, проводятся с позиции механики разрушения, то это находит отражение в методике проведения эксперимента. Электротензорезисторы устанавливаются по высоте расчетных поперечных сечений экспериментальных конструкций основных серий; в фибровых волокнах; в местах определения нулевой точки, т. е. перехода от удлинения к укорочению и в сжатой зоне бетона (рис. 3). Целью установки электротензорезисторов является изучение распределения деформаций по высоте сжатой зоны и в окрестностях, прилегающим к фибрам; определения размеров сжатой зоны и фактической высоты развития пространственных трещин.

При разработке методики экспериментальных исследований предусматриваются три группы электротензорезисторов на основные опытные железобетонные конструкции. На рис. 3 приняты следующие обозначения:

- **ИБ1** – индикатор часового типа (ИЧТ) с ценой деления 0,001мм для измерения линейных перемещений бетона, расположенный на сжатой фибре бетона, установленный на базе 250 мм;
- **ИБ2** – то же, для измерения линейных перемещений сжатого бетона на расстоянии 30 мм выше оси индикатора **ИБ1**, установленный на базе 250 мм;
- **ИБ3** – то же, для измерения линейных перемещений сжатого бетона 50 мм выше оси индикатора **ИБ1**, установленный на базе 250 мм;
- **ИА1** – ИЧТ с ценой деления 0,001мм для измерения линейных перемещений растянутой арматуры, установленный на базе 250 мм;
- **P1** – прогибомер, ИЧТ с ценой деления 0,01 мм для измерения перемещений испытываемой конструкции, установленный на уровне ее геометрического центра;
- **P2** – прогибомер, ИЧТ с ценой деления 0,01 мм для измерения перемещений испытываемой конструкции, установленный в правой части (на краю) конструкции по центру ширины образца;
- **P3** – прогибомер, ИЧТ с ценой деления 0,01 мм для измерения перемещений испытываемой конструкции, установленный в левой части (на краю) конструкции по центру ширины образца;
- **P4** – прогибомер, ИЧТ с ценой деления 0,01мм для измерения перемещений левой консоли (левого края образца от действия кручения с изгибом) испытываемой конструкции, установленный по центру половины ширины образца;
- **P5** – прогибомер, ИЧТ с ценой деления 0,01мм для измерения перемещений правой консоли (правого края образца от действия кручения с изгибом) испытываемой конструкции, установленный по центру половины ширины образца;
- **P6, P7** – прогибомеры, ИЧТ с ценой деления 0,01мм для измерения углов кручения по обоим торцам образца, на расстояниях 300мм по горизонтали от геометрического центра поперечного сечения испытываемой железобетонной конструкции.

Первая группа электротензорезисторов (рис. 3). Электротензорезисторы устанавливаются по высоте (среднего по длине железобетонной конструкции) поперечного сечения, экспериментальных железобетонных конструкций основных серий в фибровых волокнах, в местах определения нулевой точки, т. е. перехода от удлинения к укорочению. Целью установки электротензорезисторов является изучение распределения деформаций по всей высоте сжатой зоны, определение размеров сжатой зоны и фактической высоты развития трещин. Для обеспечения надежности и дополнения опытной информации предусматриваются розетки (составляющие II группу электротензорезисторов), расположенные в двух одинаково напряженных (симметричных) сечениях.

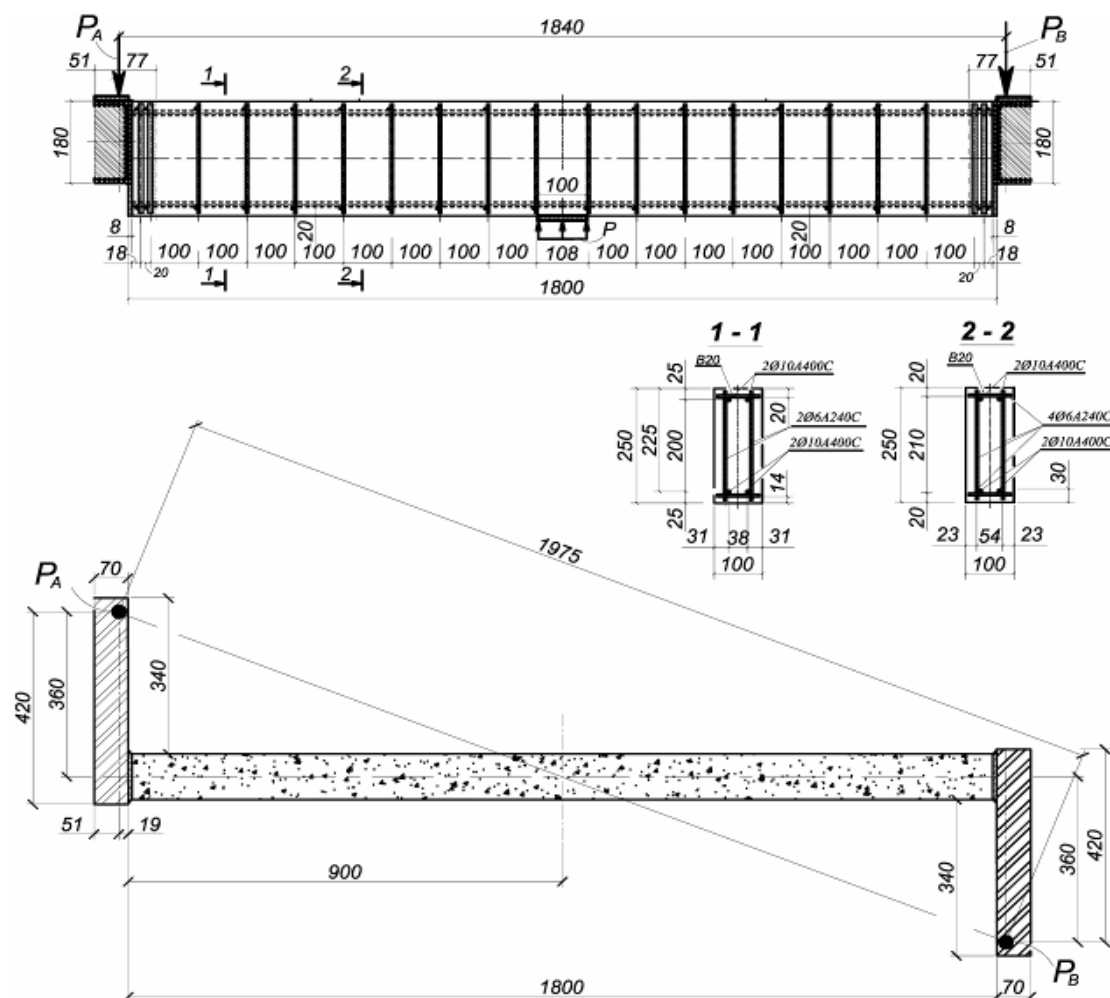


Рисунок 2 – Конструкция, армирование и схема нагружения опытного образца первой серии ИК–I–1,8

Вторая группа электротензорезисторов – розетки, образованные четырьмя электротензорезисторами под углом 45° , наклеенные на бетон. Схема размещения электротензорезисторов II группы приведена на рис. 3 и рис. 4.

Третья группа электротензорезисторов – электротензорезисторы, устанавливаемые на берегах образуемых трещин на уровне оси растянутой арматуры. Схема размещения электротензорезисторов третьей группы приведена на рис. 3.

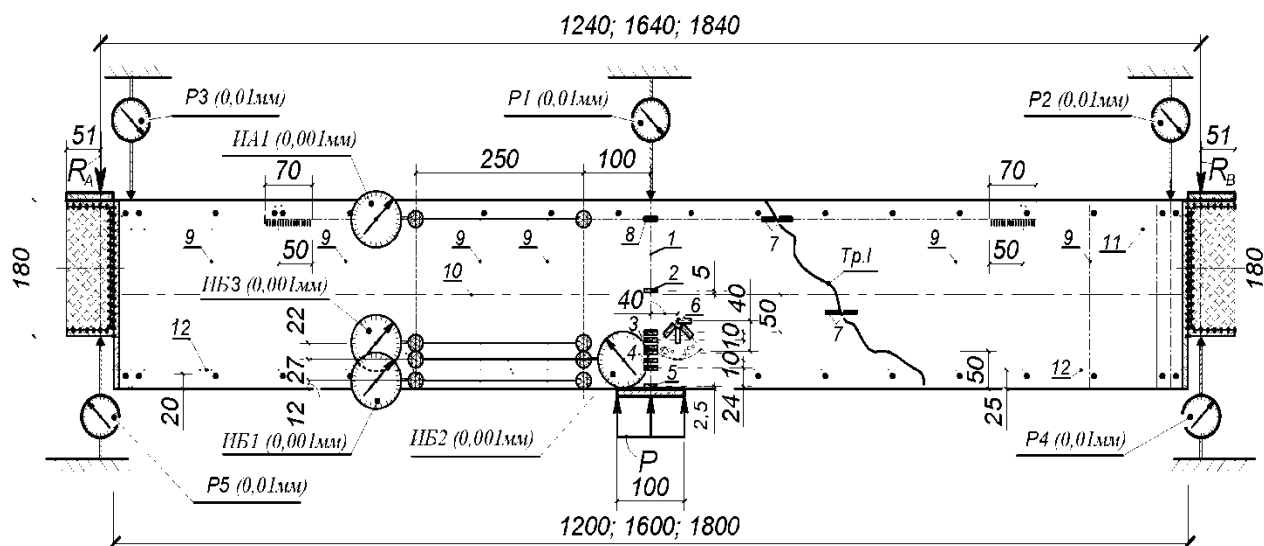


Рисунок 3 – Схема расположения механических приборов и электротензорезисторов, установленных при испытании железобетонных конструкций при действии кручения изгибом :

1 – вертикальная ось симметрии образца; 2 – электротензорезисторы, расположенные сверху от нейтральной оси 10; 3 – то же, расположенные в зоне сжатого бетона; 4 – то же, в зоне, прилегающей к нейтральной оси; 5 – электротензорезисторы, расположенные на фибре бетона; 6 – розетка электротензорезисторов, расположенная на удалении 40 мм от вертикальной оси образца 1; 7 – электротензорезисторы, расположенные на берегах появившейся трещины; 8 – то же, на уровне оси растянутой арматуры; 9 – ось вертикальных арматурных хомутов; 10 – средняя нейтральная ось; 11 – ось растянутой арматуры; 12 – ось сжатой арматуры



Рисунок 4 – Общий вид установки электротензорезисторов на бетон:

а – размещение электротензорезисторов на образце второй серии;

б – размещение электротензометрической розетки на образце третьей серии

Обоснование полученных результатов. С целью исключения влияния окружающего бетона на положение гаек при деформациях (установленных на рабочую арматуру), на гайки надевались специальные резиновые трубки перед бетонировкой, а торцы гаек закрывались с помощью пластилина.

Перед началом испытаний производилось тщательное освидетельствование конструкции, т.е. отмечались начальные трещины, раковины, искривления и др.

Для повышения достоверности экспериментальных данных работа электротензорезисторов дублировались (там, где это возможно) с помощью механических приборов (с ценой деления 0,001мм) (рис. 3). При этом также устанавливались механические приборы вдоль оси наиболее растянутой арматуры (рис.3), которые дают возможность определить средние деформации арматуры и в сочетании с другими механическими приборами и тензорезисторами, – проверить гипотезу плоских сечений в поперечном сечении (среднем по длине желе-

зобетонной конструкции) для средних деформаций бетона и арматуры. Для измерения максимальных прогибов устанавливались прогибомеры (с ценой деления 0,01 мм) – рис. 3.

С целью извлечения максимума информации каждый образец испытывался с доведением до разрушения. Нагружение железобетонных конструкций осуществлялось плавно, – мелкими ступенями, составляющими $0,1M_{крс}$. Это необходимо для выявления особенностей деформирования при образовании трещин первого, второго и т.п. уровней. Выдержка на ступенях контрольной нагрузки по трещиностойкости и жесткости осуществлялась в течение не менее часа. Выдержка на всех ступенях, кроме контрольной, для проверки жесткости и трещиностойкости составляла не менее получаса. В процессе кратковременного нагружения отсчеты по механическим приборам и датчикам снимались дважды на этапе: сразу после приложения нагрузки и после выдержки.

Перед ожидаемым моментом трещинообразования растянутая зона каждой балки тщательно осматривалась, появление трещин фиксировалось визуально и с помощью микроскопа МПБ-2 с 24-х кратным увеличением и ценой деления 0,05мм с точностью до 0,025мм. По мере дальнейшего нагружения проводились наблюдения за появлением новых трещин и развитием уже имеющихся; замерялась ширина раскрытия трещин на двух боковых гранях в выше отмеченных уровнях (расположенных выше оси арматуры на 20мм и 30 мм, соответственно) вдоль всего профиля трещины, рис. 5.



Рисунок 5 – Картина образования и развития трещин при проведении испытаний железобетонных конструкций второй серии на кручение с изгибом

Зарисовка трещин производилась на специальных планшетах. Во время проведения экспериментальных исследований, с помощью микроскопа МПБ-2 замерялась ширина раскрытия трещин на уровне оси продольной рабочей арматуры и рабочих поперечных стержней, а также в нескольких местах вдоль профиля трещины, по направлению развития трещины. Картина трещин, их раскрытие и распространение на каждый ступени наносилась с помощью карандашной кальки на специальные планшеты в масштабе 1:1.

На достоверность и правильность экспериментальных данных влияет тот факт, что на опытные образцы устанавливались не только дублирующие группы электротензорезисторов, но также механические приборы и розетки.

Выводы. Таким образом, на основании разработанной методики экспериментальных исследований железобетонных конструкций, представляется возможным проверить предложенную расчетную модель и рабочие гипотезы [1–4], а также получить достоверные данные о расчетных параметрах и сложном напряженно-деформированном состоянии в исследуемых областях при действии изгибающего, крутящего моментов и поперечной силы.

Предложенная методика экспериментальных исследований охватывает широкий круг вопросов, которые так необходимы при разработке нового расчетного аппарата железобе-

тонных конструкций (и в первую очередь для выяснения трещинообразующей нагрузки и координат мест образования пространственных трещин) на действие кручения с изгибом (рис. 4, рис. 5).

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования, представляют возможность проверки достоверности расчетного аппарата трещиностойкости железобетонных конструкций при действии кручения с изгибом, расстояний между трещинами (рис. 5) (при проверке многоуровневого процесса их образования) и дают возможность убедиться в адекватности рабочих гипотез при варьировании длины образцов, крутящего и изгибающего моментов, класса бетона, и в заметной степени дополняют имеющийся фактический материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending (2015), Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp. 784–789.
2. Сальников А. С. Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида при кручении с изгибом / А. С. Сальников, Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – №3. – С. 35–40.
3. Сальников А. С. Методика расчета предельной нагрузки и координат образования пространственной трещины первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом / А. С. Сальников, В. И. Колчунов, В. И. Колчунов // Строительство и реконструкция. – 2015. – №6(62). – С. 49–56.
4. Сальников А. С. Метод определения минимальной нагрузки и координат образования пространственной трещины в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом / А. С. Сальников, Н. В. Ключева, В. И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – №1. – С. 52–57.
5. Ключева Н. В. К расчету ширины раскрытия наклонных трещин третьего типа в составных железобетонных конструкциях / Н. В. Ключева, И. А. Яковенко, Н. В. Усенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №2. – С. 8–11.
6. Ключева Н. В. Жилые и общественные здания из железобетонных панельно-рамных элементов промышленного производства / Н. В. Ключева, В. И. Колчунов, Д. А. Рыпаков, А. С. Бухтиярова // Жилищное строительство. – 2015. – №5. – С. 69–75.
7. Бондаренко В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : АСВ, 2004. – 472 с.
8. Голышев А.Б. Сопротивление железобетона: монография / А.Б. Голышев, В. И. Колчунов. – К. : Основа, 2009. – 432 с.
9. Колчунов Вл. И. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом / Вл. И. Колчунов, А. С. Сальников // Строительство и реконструкция. – 2016. – №3(65). – С. 24–32.

Демьянов Алексей Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: speccompany@gmail.com

Покусаяев Алексей Александрович

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва.

Аспирант, Институт пути, строительства и сооружений.

E-mail: fvs_Aleksej456@yandex.ru

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: vlik52@mail.ru

A.I. DEM'YANOV, A.A. POKUSAIEV, V.I. I. KOLCHUNOV

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS UNDER THE ACTION TORSION WITH BENDING

It is proposed the program and methodology of experimental researches of reinforced concrete constructions under the action torsion with bending, the main purpose of which is to check the calculation assumptions and the experimental determination of the design parameters of the proposed calculation method.

Particular attention is paid to the determination of fracture levels and the width of the expansion of spatial cracks in reinforced concrete constructions under the action torsion with bending.

Keywords: reinforced concrete constructions, torsion with bending resistance, load and coordinates space cracks emergence, experimental verification of calculation model.

REFERENCES

1. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending (2015), Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp. 784–789.
2. Salnikov A. S. Raschetnaya model obrazovaniya prostranstvennykh treschin pervogo vida pri kruchenii s izgibom / A. S. Salnikov, V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2015. – №3. – P. 35–40.
3. Salnikov A. S. Metodika rascheta predelnoy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treschiny pervogo vida v zhelezobetonnykh konstruktsiyakh pri kruchenii s izgibom / A. S. Salnikov, V. I. Kolchunov, V. I. Kolchunov // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. – 2015. – №(62). – P. 49–56.
4. Salnikov A. S. Metod opredeleniya minimalnoy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treschiny v zhelezobetonnykh konstruktsiyakh pri kruchenii s izgibom / A. S. Salnikov, N. V. Klyueva, V. I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2016. – №1. – P. 52–57.
5. Klyueva N. V. K raschetu shiriny raskryitiya naklonnykh treschin tretogo tipa v sostavnykh zhelezobetonnykh konstruktsiyakh / N. V. Klyueva, I. A. Yakovenko, N. V. Usenko // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2014. – №2. – P. 8–11.
6. Klyueva N. V. Zhilye i obschestvennyye zdaniya iz zhelezobetonnykh panelno-ramnykh elementov industrialnogo proizvodstva / N. V. Klyueva, V. I. Kolchunov, D. A. Ryipakov, A. S. Buhtiyarova // Zhilishchnoe stroitelstvo. – 2015. – №5. – P. 69–75.
7. Bondarenko V. M. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona : monografiya / V. M. Bondarenko, V. I. Kolchunov. – M. : ASV, 2004. – 472 p.
8. Golyishev A.B. Soprotivlenie zhelezobetona: monografiya / A.B. Golyishev, V. I. Kolchunov. – K. : Osnova, 2009. – 432 p.
9. Kolchunov V.I. Eksperimentalnyye issledovaniya treschinoobrazovaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy pri kruchenii s izgibom / V. I. Kolchunov, A. S. Salnikov // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. – 2016. – №3(65). – P. 24–32.

A. I. Demyanov

South-Western State University, Kursk
Candidate of technical Sciences, associate Professor
E-mail: speccompany@gmail.com

A. A. Pokusaev

Russian University of Transport (MIIT), Moscow
Postgraduate student, Institute of road construction and structures.
E-mail: fvs_Aleksej456@yandex.ru

V.I. Kolchunov

South-Western State University, Kursk
Doctor of technical Sciences, Professor, Professor, Department of unique building and structures
E-mail: vlik52@mail.ru

УДК: 624.075.2

КОНИН Д.В., ОДЕССКИЙ П.Д., ОЛУРОМБИ А.Р.

ВЛИЯНИЕ ДИАГРАММЫ «Б-Е» НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ ТРУБ ИЗ СТАЛИ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ

Рассмотрен вопрос актуальности использования стальных труб круглого сечения из сталей повышенной и высокой прочности в качестве элементов строительных конструкций, работающих на сжатие. В статье описаны преимущества трубы как элемента конструкции, а также опыт их использования на примере уникальных сооружений. Обосновывается целесообразность применения высокопрочных сталей нового поколения с пределом текучести свыше 390 МПа. Приводится описание численного эксперимента на основе метода конечных элементов в программном комплексе NX Natstran, на основе которого анализируется устойчивость труб круглого сечения. Результаты численного расчета сравниваются с результатами расчета по действующим строительным нормам. Обсуждаются особенности и недостатки обоих методов, предлагаются пути решения обнаруженных в процессе исследования проблем, заключаются определённые выводы.

Ключевые слова: труба, сжатие, устойчивость, сталь повышенной и высокой прочности, тонкостенность, форма потери устойчивости, конечно-элементный расчет.

1. Введение

Металлические конструкции из круглых труб имеют ряд существенных преимуществ перед конструкциями из плоских элементов (фасонного или листового проката), как в весовом отношении [1], так и в случае таких специфических для инженерных сооружений воздействий как коррозионное, кратковременное высокотемпературное при пожаре и ветровое.

Было показано, что экономические и весовые преимущества конструкций из электросварных, тонкостенных труб, наиболее ощутимы при применении сталей высокой прочности $\sigma_T \geq 390 \text{ Н/мм}^2$. В [1] на примере ферм, где трубы рассматривались как стержни, была установлена возможность снижения массы конструкции до 50%.

К достоинствам стержней из круглых труб следует отнести симметричность поперечного сечения относительно центра тяжести, что приводит к одинаковой изгибной жесткости, а следовательно, к одинаковой гибкости в любой продольной плоскости. Поэтому трубы хорошо работают на сжатие по сравнению с двутавровыми сечениями аналогичной площади, значения критической силы у труб на 7-10% выше. Традиционно трубчатые сечения использовались в конструкциях, работающих на сжатие.

В последние годы металлургическая промышленность стала выпускать трубы больших диаметров до 1420 мм с пределом текучести 390-480 Н/мм² (С390 и С440) по специально разработанным ТУ [3]. Такие трубы нашли применение при возведении уникальных сооружений (универсально-футбольный стадион в Казани, стадион «Спартак», и др.) Работа под нагрузкой таких труб имеет свою специфику, связанную с новыми технологиями в металлургии при производстве заготовок для этих труб (толстолистовой прокат, штрипс) и самих труб.

В настоящей статье рассматриваются особенности поведения новых труб высокой прочности при сжатии и вопросы специфики расчета этих изделий при определении несущей способности.

2. Материал и методика исследований

Рассматривались трубы класса прочности С440 ($\sigma_T \geq 440 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_B \geq 590 - 720 \text{ Н/мм}^2$; $\delta_5 \geq 20\%$) в диапазоне диаметров от 325 до 1420 мм и толщин от 9 до 32 мм.

Механические свойства оценивались на металле электросварной трубы 1220x32 мм (по ТУ 1381-068-00186654-2016), типичной для применения в строительных металлических конструкциях, со следующим химическим составом (в % масс): С0,06; Мn1,63; Si0,20; Р0,0028; S0,001; Ni0,43; Cu0,22; Al0,03; Ti0,02; Nb0,04; N0,004. Листы для труб изготавлива-

лись на Магнитогорском МК термомеханической прокаткой с последующим ускоренным охлаждением. Трубы изготавливались холодной деформацией листов на Челябинском трубопрокатном заводе. Испытания на растяжение проводились по ГОСТ 1497 на продольных цилиндрических образцах типа II с определением $\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,5}$; σ_B ; δ_5 ; δ_p ; ψ ($\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, напряжение возникающее при относительном удлинении образца 0,2%, $\sigma_{0,5}$ – напряжение возникающее при относительном удлинении образца 0,5%). Испытания на сжатие проводились по ГОСТ 25.503 на цилиндрических образцах типа I и III с определением $\sigma_{0,01}$; $\sigma_{0,02}$; $\sigma_{0,2}$ и построением диаграммы работы на сжатие.

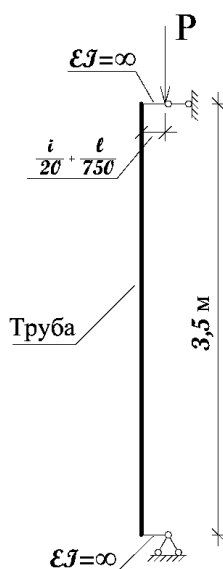


Рисунок 1 - Общий вид расчетной схемы

Проводился расчет элементов конструкций, работающих на сжатие, из круглых труб с сечением: 820x30; 426x12; 1020x32; 530x9; 325x9; 426x6; 1020x16; 820x10; 1420x20; 1420x14; 1020x9; 1420x10. Элементы рассчитывались применительно к модели, представленной на рисунке 1. Длина рассматриваемого элемента малой гибкости составляла 3,5 метра; основания и верх закреплены шарнирно-неподвижно и шарнирно-подвижно соответственно. Как механические свойства труб использовались данные, полученные нами в эксперименте. При расчете применялись две методики: по СП [2] и с использованием конечных элементов в программном комплексе NX Nastran [6]. В расчете по СП стержень принимался как центрально сжатый, а предельная несущая способность находилась по формуле:

$$P_{пр} = \varphi A R_y \gamma_c$$

где φ – коэффициент устойчивости; A – площадь поперечного сечения; γ_c – коэффициент условий работы; R_y – расчетное сопротивление (принималось по результатам испытаний).

При расчете в NX Nastran была подобрана оптимальная сетка разбиения на конечные элементы 25x25мм. Учитывалась геометрическая и физическая нелинейность, а так же начальные несовершенства проката в виде малых дефектов, поэтому продольная сила была приложена с эксцентриситетом $e_0 = \frac{i}{20} + \frac{l}{750}$, согласно пособию к СНиП II-23-81*[7], где i – радиус инерции; l – длина стержня.

3. Результаты испытаний и расчетов

Результаты испытаний трубных сталей на растяжение и сжатие представлены в таблице 1. Диаграмма работы стали при сжатии «б-в», представлена на рисунке 2.

На полученной диаграмме отсутствует площадка текучести, характерная для сталей, используемых в строительных конструкциях, однако $\frac{\sigma_{0,01}}{\sigma_{0,2}} \approx 0,9$, как у сталей высокой прочности С440.

В таблице 2 представлены результаты расчета, в том числе значения критических нагрузок, полученные указанными в методике способами.

Таблица 1 - Механические свойства металла труб

Напряженное состояние	$\sigma_{0,01}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,02}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,5}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	δ_5	δ_p	ψ
Растяжение	-	-	544	548	601	20,5	5,7	78
То же	-	-	525	527	592	21,0	6,7	79
Сжатие	504	522	545	-	-	-	-	-

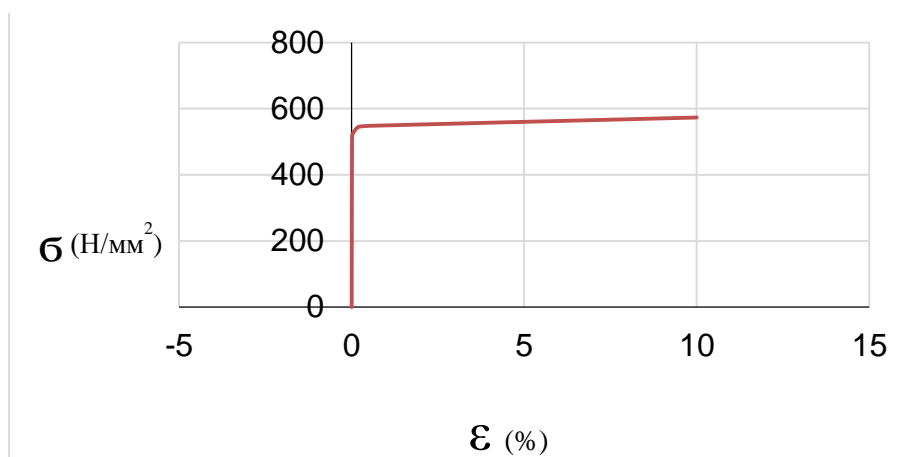


Рисунок 2 - Диаграмма сжатия σ - ϵ трубных сталей марки К

Таблица 2 - Результаты расчетов

Сече- ние	γ_c	$P_{кр}$ (Т)		D/t	Δ (%)	A (см ²)	I (см ⁴)	λ	$\bar{\lambda}$	φ	e_0 (см)
		СП 16.13330 .2011	NX Nas- tran								
820x30	0,95	3824,4	3775,9	27,3	1,29	744,56	581686	12,52	0,64	0,99	18,64
	1	4025,7	3974,6								
1020x32	0,95	5142,6	5049,3	31,9	1,85	993,25	1213210	10,01	0,51	1	22,14
	1	5413,3	5315								
426x12	0,95	769,9	757,2	35,5	1,67	156,07	33466	23,9	1,22	0,95	12
	1	810,4	797,1								
325x9	0,95	426,2	411,5	36,1	3,55	89,35	11161	31,31	1,6	0,92	10,25
	1	448,6	433,2								
530x9	0,95	740,3	715,1	58,9	3,53	147,31	49997	19	0,97	0,97	13,88
	1	779,3	752,7								
1020x16	0,95	2614,2	2464,8	63,8	6,06	504,67	636050	9,86	0,5	1	22,41
	1	2751,8	2594,5								
426x6	0,95	391	377	71	3,73	79,17	17460	23,57	1,2	0,95	12,09
	1	411,6	396,8								
1420x20	0,95	4596,4	4280,3	71	7,38	879,65	2155572	7,07	0,36	1	29,42
	1	4838,3	4505,6								
820x10	0,95	1308,3	1221,5	82	7,11	254,47	208728	12,22	0,62	0,99	18,99
	1	1377,2	1285,8								
1420x14	0,95	3231,6	2942	101,4	9,85	618,39	1528224	7,04	0,36	1	29,52
	1	3401,7	3096,8								
1020x9	0,95	1481,1	1348,1	113,3	9,87	285,85	365250	9,79	0,5	1	22,54
	1	1559	1419								
1420x10	0,95	2315	2053	142	12,76	442,96	1100878	7,02	0,36	1	29,59
	1	2436,8	2161,1								

Примечания

$P_{кр}$ – предельная несущая способность

A – площадь поперечного сечения

I – момент инерции поперечного сечения

λ – гибкость

$\bar{\lambda}$ – условная гибкость

$\Delta = (1 - \frac{P_{(NX Nastran)}}{P_{(СП 16.13330.2011)}})$

γ_c – коэффициент условий работы (0,95 - колонны, 1 - элементы ферм)

D/t – Отношение диаметра трубы к толщине стенки (тонкостенность)

В конструкциях на сжатие в основном работают колонны и элементы ферм, поэтому в таблице для каждого сечения представлены два коэффициента условий работы (γ_c) - 0,95 для колонн и 1 для элементов ферм, согласно [2].

Размещение данных в таблице соответствует увеличению отношения D/t (показателю тонкостенности). Видим, что величина критических нагрузок $R_{кр}$, определенная с помощью программы NX Nastran, меньше, чем по СП [2]. Показатель Δ отражает эту разность и достигает 12,76% (таблица 2). Само значение $R_{кр}$ по мере увеличения значения D/t изменяется не монотонно, что естественно, поскольку $R_{кр}$ зависит от площади сечения. Однако разница в оценках $R_{кр}$ между двумя способами расчета (см. столбец Δ (%) в таблице 2) так же практически возрастает с увеличением D/t . Проведенный в программе NX Nastran анализ форм потер устойчивости труб показал (рисунок 3), что при относительно малых значениях D/t форма потери устойчивости практически соответствует аналитическому решению стержневой задачи центральносжатого стержня (рисунок 3а), и принимает синусоидальный вид. Рассматривая же трубы с большим отношением D/t , видим, что данная форма потери устойчивости больше соответствует оболочкам (рисунок 3б).

Таким образом, расчет работы элементов на сжатие трубных профилей с большим значением D/t , проведенный с помощью программы NX Nastran с учетом реальной

диаграммы «б-ε», дает совершенно иную картину развития пластических деформаций и соответственно величины критических нагрузок по сравнению с нормативным подходом по СП [2].

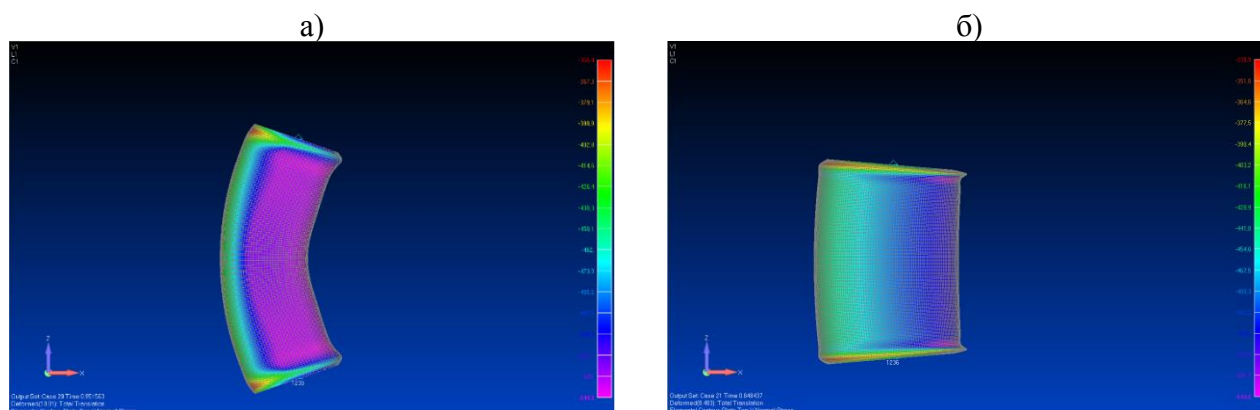


Рисунок 3 - Формы потери устойчивости труб, полученные в программном комплексе NX Nastran:
а) Труба с сечением 820x30; б) Труба с сечением 1420x10

4. Обсуждение результатов

Трубы высокой прочности, рассматриваемые выше, имеют малую гибкость, по этой причине потеря устойчивости происходит в упругопластической стадии, следовательно, значение критической нагрузки напрямую зависит от поведения материала стали за пределами упругости. В СП [2] вопрос устойчивости сжатых стержней рассматривается достаточно обобщенно, поскольку расчетные формулы не учитывают особенностей используемого материала, в частности, формы диаграммы работы стали.

Так же анализируя нормативную методику расчета можно заметить, что условное деление форм сечений на типы, представленные в таблице 7 СП [2], не регламентирует тонкостенность труб (D/t). Однако данный параметр, как было показано выше, может в значительной степени повлиять на поведение элемента под действием сжимающей силы и на значение критической нагрузки, в частности.

По результатам расчетов видно, что с изменением тонкостенности плавно изменяется форма потери устойчивости, поскольку тонкостенные элементы под действием нагрузки деформируются иначе, нежели идеализированный стержень. Переход от стержней к оболочкам происходит монотонно, разность в результатах расчета нарастает без скачков. Поэтому возникает необходимость обозначить границу применимости методики расчета, представленной

в нормах. Также необходимо ввести дополнительные поправочные коэффициенты, учитывающие различия в нелинейном поведении материалов.

Результаты, полученные с помощью численных расчетов по методу конечных элементов в программном комплексе NX Nastran, указывают на обязательность изменения формы потери устойчивости при увеличении тонкостенности (D/t) но дают лишь приближенное представление о действительной работе труб под действием сжимающей нагрузки. В процессе моделирования принимались некоторые условные упрощения. В частности, для стержней задавался начальный эксцентриситет равный $e_0 = \frac{i}{20} + \frac{l}{750}$. Данное значение принимается в методике расчета центрально сжатых стержней по СП [2]. Однако данный параметр в первую очередь зависит от начальных несовершенств, которые в основном связаны с качеством изготовления металлических конструкций. Поэтому данный параметр не является постоянным и с развитием технологий изготовления может принимать меньшие значения.

Основываясь на вышесказанном можно заключить, что нормативная методика вычисления несущей способности сжатых стержней из круглых труб высокой прочности, нуждается в уточнении. Для уточнения результатов, полученных расчетным путем, необходимо исследовать несущую способность сжатых стоек трубного сечения при натурном эксперименте. То есть провести испытания на сжатие труб повышенной и высокой прочности с различным отношением D/t . Такие испытания, на момент написания статьи, готовятся.

Выводы

1. Проводилась оценка несущей способности при сжатии труб высокой прочности по стандартным методикам СП 16.13330.2011, а также с использованием программного комплекса NX Nastran. Результаты показали, что в зависимости от тонкостенности труб D/t эти две методики могут иметь существенные расхождения. Более того, при использовании комплекса NX Nastran установлено, что с увеличением D/t принципиально изменяется форма потери устойчивости с синусоидальной на оболочечную, что не учитывается в СП 16.13330.2011;

2. Для уточнения полученных данных с целью разработки методики вычисления критических нагрузок при сжатии труб повышенной и высокой прочности необходимо провести натурный эксперимент. В настоящее время такие испытания готовятся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильясевича С.А. Стальные конструкции из труб. – М.: Стройиздат, 1973. – 192с.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции [Текст]. – Введ. 2011-20-05. – М.: Издательство стандартов. – 173с.
3. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия [Текст]. – Введ. 2011-20-05. – М.: Издательство стандартов. – 78с.
4. ТУ 1380-123-05757848-2014. Трубы стальные электросварные прямошовные наружным диаметром 12,7-530,0 мм для строительных металлических конструкций. – М.: Издательство стандартов. – 25с.
5. Одесский П.Д. Сталь в строительных металлических конструкциях [Текст]/ Одесский П.Д., Ведяков И.И. – М.: НИЦ Строительство, 2015. – 44с.
6. Ведеников Г.С. Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1998. – 760с.
7. Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0 Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций [Текст]. – Киев, 2011. – 317с.
8. Лессиг Е.Н. Стальные листовые конструкции [Текст]/ Лессиг Е.Н., Лилеев А.Ф., Соколов А.Г. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. – 480с.
9. Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций [Текст]. – М.: Государственное издание физико-математической литературы, 1959. – 544с.
10. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) [Текст]. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, 1989. – 150с.
11. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК, 2013. – 783с.

Конин Денис Владимирович

АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

кандидат технических наук, заведующий сектором высотных зданий и сооружений лаборатории металлических конструкций.

E-mail: konden@inbox.ru

Одесский Павел Дмитриевич

АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

доктор технических наук, заведующий сектором прочности проката и соединений лаборатории металлических конструкций

E-mail: odesskiy@tsniisk.ru

Олуромби Александр Ричардович

АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

научный сотрудник лаборатории металлических конструкций,

E-mail: alexolrich@gmail.com

D.V. KONIN, P.D. ODESSKIY, A.R. OLUROMBI

INFLUENCE OF STRESS-STRAIN CURVE ON THE STABILITY OF HIGH-STRENGTH STEEL PIPES

In article, advantages of circular pipe from the high-strength steel are studied. The behavior of these pipes as elements of the building constructions working for compression is considered. Examples of application of pipes in unique constructions are given. Expediency of application of high-strength steel with yield strength above 390 MPa is proved.

Examples of calculation of pipes on the central compression with use of the technique presented in existing normative documents are given. Results of calculation with use of a FEA are also shown. In addition, the presented calculations are compared and conclusions are drawn.

Keywords: pipe, compression, buckling, high-strength steel, buckling shape, FEA.

BIBLIOGRAPHY

1. Il'yasevicha S.A. Stal'nyye konstruksii iz trub. – M.: Stroyizdat, 1973. – 192c.
2. SP 16.13330.2011. Stal'nyye konstruksii [Tekst]. – Vved. 2011-20-05. – M.: Izdatel'stvo standartov. – 173s.
3. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya [Tekst]. – Vved. 2011-20-05. – M.: Izdatel'stvo standartov. – 78s.
4. TU 1380-123-05757848-2014. Truby stal'nyye elektrosvarnyye pryamoshovnyye naruzhnym diametrom 12,7-530,0 mm dlya stroitel'nykh metallicheskih konstruksiy. – M.: Izdatel'stvo standartov. – 25s.
5. Odesskiy P.D. Stal' v stroitel'nykh metallicheskih konstruksiyakh [Tekst]/ Odesskiy P.D., Vedyakov I.I. – M.: NITS Stroitel'stvo, 2015. – 44s.
6. Vedenikov G.S. Metallicheskiye konstruksii. – M.: Stroyizdat, 1998. – 760s.
7. Rudakov K.N. FEMAP 10.2.0 Geometricheskoye i konechno-elementnoye modelirovaniye konstruksiy [Tekst]. – Kiev, 2011. – 317s.
8. Lessig Ye.N. Stal'nyye listovyye konstruksii [Tekst]/ Lessig Ye.N., Lileyevev A.F., Sokolov A.G. – M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture, 1956. – 480s.
9. Bleykh F. Ustoychivost' metallicheskih konstruksiy [Tekst]. – M.: Gosudarstvennoye izdaniye fiziko-matematicheskoy literatury, 1959. – 544s.
10. Posobiye po proyektirovaniyu stal'nykh konstruksiy (k SNiP II-23-81*) [Tekst]. – M.: TSNIISK im. Kucherenko Gosstroya SSSR, 1989. – 150s.
11. Rychkov S.P. Modelirovaniye konstruksiy v srede Femap with NX Nastran. – M.: DMK, 2013. – 783s.

D. V. Konin

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko

Candidate of technical science, chief manager of Sector HRB&C in laboratory of steel constructions

E-mail: konden@inbox.ru

P. D. Odesskiy

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko

Doctor of technical science, chief manager of Sector SR&J in laboratory of steel constructions

E-mail: odesskiy@tsniisk.ru

A. R. Olurombi

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko

Researcher in laboratory of steel constructions

E-mail: alexolrich@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ КРУЧЕНИЯ ДЛЯ СЕЧЕНИЙ В ФОРМЕ ФИГУР, ПРОМЕЖУТОЧНЫХ МЕЖДУ КРУГОМ И ПРАВИЛЬНЫМ МНОГОУГОЛЬНИКОМ

Проблема расчета упругих стержней на кручение является одной из наиболее важных современных проблем в области строительной механики. Многие строительные конструкции в виде стержневых систем испытывают деформации кручения. При расчете таких конструкций в первую очередь определяется геометрическая жесткость их сечений. Этот физический параметр используется при оценке напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, работающих на кручение. В строительной механике и теории упругости известно лишь несколько решений по определению геометрической жесткости сечений в виде эллипса, прямоугольника, равнобедренного треугольника. При более сложных сечениях используются приближенные методы расчета, в основном численные.

В последние два десятилетия при исследовании и решении двумерных задач теории упругости и технической теории пластинок активно развивается и используется геометрический метод – метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), в основе которого лежат изопериметрические свойства интегральной геометрической характеристики формы области (пластинки, мембраны, сечения). Этот метод применим к решению задач упругого кручения стержней, однако до настоящего времени он не получил достойного развития. В настоящей статье с помощью МИКФ решается задача по определению приведенной геометрической жесткости сечений для стержней с сечениями в виде фигур, промежуточных между кругом и правильными многоугольниками. Круглое сечение и сечения в виде правильного многоугольника используются в качестве «опорных» сечений с известными значениями приведенной геометрической жесткости. Подмножество сечений между кругом и правильным многоугольником получается путем последовательного синхронного отсечения от круга его частей прямыми, параллельными сторонам правильного многоугольника. Интерполяция «опорных» решений для любых сечений из рассматриваемого подмножества осуществляется по коэффициенту формы. Построены простые интерполяционные функции, позволяющие по элементарным формулам найти искомое решение для рассматриваемого подмножества форм сечений с использованием единственного аргумента – коэффициента формы.

Приведенное в статье графическое изображение зависимостей «приведенная геометрическая жесткость – коэффициент формы» позволяет наглядно представить место искомого решения в рассматриваемом подмножестве форм сечений.

Ключевые слова: *приведенная геометрическая жесткость сечений, деформации кручения, коэффициент формы, изопериметрические свойства.*

Стержни, воспринимающие деформации кручения, широко распространены в строительстве и машиностроении, в частности в авиа- и судостроении [1, ..., 4]. Определение геометрической жесткости кручения сечений является одной из важнейших проблем строительной механики. Для стержней сложных форм и сложными граничными условиями используются в основном приближенные методы решения (вариационные и численные). При использовании численных методов часто теряется физическая сущность задачи из-за затруднений в обобщении и распространении полученных результатов на множество конструкций определенного вида. Приближенные геометрические методы решения этой динамической задачи позволяют избежать указанного недостатка.

В настоящей статье будут рассмотрены стержни, форма которых является промежуточной между кругом и правильными многоугольниками (рисунок 1). Такие фигуры могут получаться путем последовательного отсечения от круга его частей прямыми, параллельными сторонам правильного многоугольника, вписанного в заданный круг, и отстоящими от центра на одинаковом расстоянии.

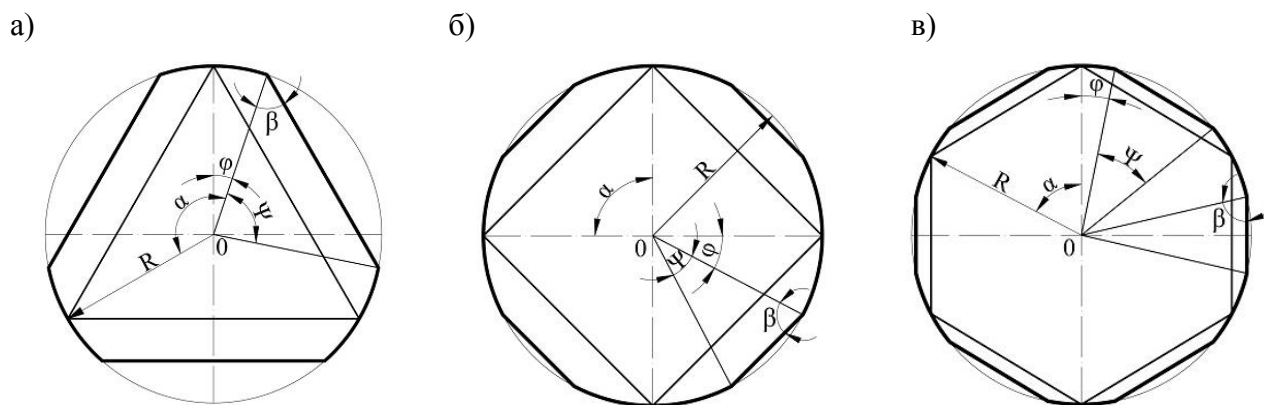


Рисунок 1 – Способы получения фигур, промежуточных между кругом и правильным многоугольником

При исследовании напряженно-деформированного состояния стержня, испытывающего деформации кручения, в первую очередь нужно определить геометрическую жесткость кручения I_k .

Среди известных геометрических методов решения двумерных задач наиболее распространенным является эффективный инженерный метод – метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ). В его основе лежат изопериметрические свойства интегральной геометрической характеристики области с выпуклым контуром – коэффициента формы. Подробные сведения о ней и методика решения задач технической теории пластинок, а также задачи теории кручения упругих призматических стержней с помощью МИКФ приведены в монографии [5]. Развитием этого метода активно занимаются ученые, аспиранты и магистры Орловского госуниверситета имени И.С. Тургенева [6...11]. К задачам кручения упругих стержней геометрический метод с использованием свойств коэффициента формы был впервые применен В.И. Коробко [6].

Для стержней, рассматриваемых в настоящей статье, коэффициент формы определяется по формуле [5]

$$K_f = 2n \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (1)$$

Здесь n – количество сторон многоугольника, а остальные обозначения указаны на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты расчета стержней по приближенным аналитическим зависимостям

Параметры сечения	Сечения в виде правильных многоугольников				
	3	4	6	8	круг
1	2	3	4	5	6
$\alpha/2$, град	60	45	30	22,5	0
$\varphi/2$, рад	1,0472	0,7854	0,5236	0,3927	0
K_f	10,3923	8,0000	6,9282	6,6274	2π
$[i_k]$	0,1155	0,1406	0,1533	0,1574	0,1592
K_f^{-1}	0,0962	0,125	0,1443	0,1509	0,1592
Δ , %	16,71	11,10	5,87	4,13	0
i_k по (5)	0,1155	0,1406	0,1526	0,1558	0,1592
Δ , %	0	0	0,47	1,02	0

В данной работе задача об определении I_k для любого поперечного сечения представлена соотношением

$$I_k \geq K_I A^2 / K_f, \quad (2)$$

где K_I – коэффициент пропорциональности, который будет разным для различных характерных подмножеств форм сечений (треугольные, прямоугольные, трапециевидные и т.п.), или для некоторого подмножества форм сечений, объединенных одним непрерывным или дискретным геометрическим преобразованием; A – площадь пластинки. В монографии [5] показано,

что для различных характерных подмножеств форм сечений, целесообразно использовать зависимости:

$$I_k \geq K_I A^2 / K_f^n \text{ или } I_k \geq A^2 (K_I + B / K_f), \quad (3)$$

где имеется два неизвестных параметра. Если рассматривается некоторое подмножество сечений, объединенных одним непрерывным или дискретным геометрическим преобразованием, в котором имеются два сечения с известными решениями, то тогда неизвестные параметры в выражении (3) могут быть найдены.

В дальнейшем целесообразней определять приведенную геометрическую жесткость сечения $i_k = I_k / A^2$:

$$i_k \geq K_I / K_f^n$$

$$\text{или } i_k \geq K_I + B / K_f, \quad (4)$$

Поскольку коэффициент формы обладает изопериметрическими свойствами, то такими же свойствами будет обладать и приведенная геометрическая жесткость кручения i_k . Известные результаты, включенные в таблицу 1, заимствованы из работ [2, 3, 5] и справочников [1, 4]. Использование неравенства (2) дает погрешность до 17%. При аппроксимации известных решений с использованием аргумента K_f получаем зависимость

$$i_k = 0,03114 + \frac{2,0254}{K_f} + \frac{5,2117}{K_f^2}, \quad (5)$$

которая удовлетворяет табличным данным для сечений в виде правильных фигур с погрешностью 1%.

Таблица 2 – Значения K_f и приведенной геометрической жесткости сечения для стержней, промежуточных между кругом и в виде правильного многоугольника

$\varphi/2$	Сечения в форме правильных фигур				$\varphi/2$	Сечения в форме правильных фигур			
	3	4	6	8		3	4	6	8
0	<u>6,28318</u> 0,1592	<u>6,28318</u> 0,1592	<u>6,28318</u> 0,1592	<u>6,28318</u> 0,1592	30	<u>6,60569</u> 0,1560	<u>6,71320</u> 0,1549	<u>6,92820</u> 0,1526	–
5	<u>6,28452</u> 0,1592	<u>6,28496</u> 0,1592	<u>6,28585</u> 0,1592	<u>6,28674</u> 0,1592	35	<u>6,81924</u> 0,1538	<u>6,99792</u> 0,1519	–	–
10	<u>6,29395</u> 0,1591	<u>6,29754</u> 0,1591	<u>6,30471</u> 0,1590	<u>6,31189</u> 0,1589	40	<u>7,12900</u> 0,1504	<u>7,41093</u> 0,1473	–	–
15	<u>6,32008</u> 0,1589	<u>6,33238</u> 0,1587	<u>6,35698</u> 0,1585	<u>6,38158</u> 0,1583	45	<u>7,57080</u> 0,1455	<u>8,00000</u> 0,1406	–	–
20	<u>6,37261</u> 0,1584	<u>6,40242</u> 0,1581	<u>6,46204</u> 0,1575	<u>6,52166</u> 0,1569	50	<u>8,19772</u> 0,1384	–	–	–
22,5	–	–	–	<u>6,62742</u> 0,1558	55	<u>9,08248</u> 0,1287	–	–	–
25	<u>6,46304</u> 0,1575	<u>6,52299</u> 0,1569	<u>6,64289</u> 0,1557	–	60	<u>10,3923</u> 0,1155	–	–	–

Примечания:

1 В верхней части ячейки приведены значения K_f , в нижней части – значения основных геометрических жесткостей сечений.

2 Жирным шрифтом выделены значения K_f и геометрической жесткостей сечения для стержней в виде правильных фигур.

При определении геометрической жесткости кручения сечений стержней, получаемых при помощи преобразований, указанных на рисунке 1, зависимость (5) может использоваться для получения «опорных» решений.

Воспользовавшись второй формулой из (3) получим следующие решения для сечений, промежуточных между правильными многоугольниками и кругом:

– при преобразовании сечения в виде правильного треугольника в круглый
 $i_k = 0,3272(K_f)^{-1,616};$ (7)

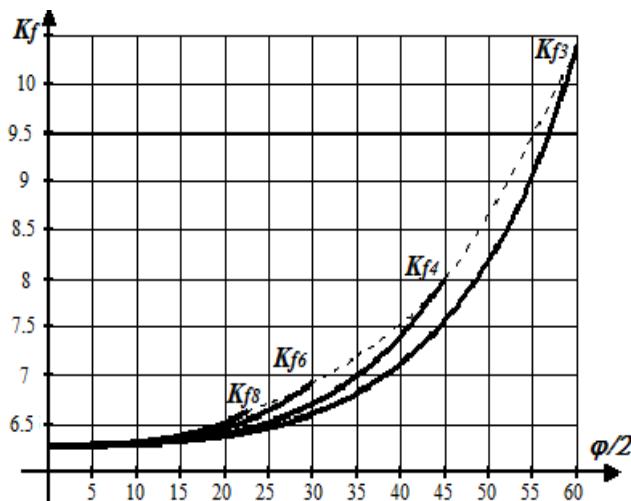
– при преобразовании сечения в виде квадрата в круглое
 $i_k = 0,1661(K_f)^{-1,98};$ (8)

– при преобразовании сечения в виде правильного шестиугольника в круглое
 $i_k = 0,0880(K_f)^{-2,323};$ (9)

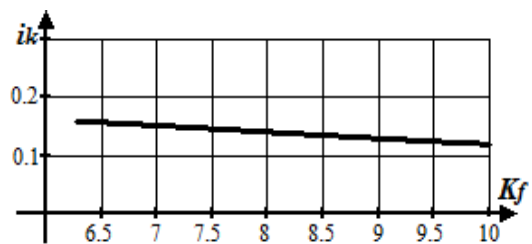
– при преобразовании сечения в виде правильного восьмиугольника в круглое
 $i_k = 0,0660(K_f)^{-2,479}.$ (10)

Результаты расчета таких стержней представлены в таблице 2.

Графически данные таблиц 1 и 2 изображены на рисунке 2, где в первом случае по оси абсцисс откладываются значения угла $\varphi/2$, а по оси ординат – значения коэффициента формы, а во втором случае по оси абсцисс откладываются значения коэффициента формы стержней, а по оси ординат – значения приведенных геометрических жесткостей сечений. Цифровые индексы 3, 4, 6, 8 при K_f на графике относятся к стержням в виде правильных многоугольников.



а) графические данные таблицы 1



б) графические данные таблицы 2

Рисунок 2 – Зависимости $K_f - \varphi/2$ и $i_k - K_f$

Анализ графиков на рисунке 2 позволяет сделать следующие выводы:

1 С учетом изопериметрических свойств коэффициента формы [5] пунктирная кривая на рисунке 2-а является верхней границей для всего подмножества рассматриваемых сечений частотного параметра.

2 Все искомые значения приведенной геометрической жесткости рассматриваемых сечений описываются одной зависимостью (5) в диапазоне $2\pi \leq K_f \leq 10,3923$, где единственным аргументом является коэффициент формы. Зависимости (7), ..., (10) дают решения несколько с большей точностью.

3 Построенные интерполяционные полиномы позволяют по элементарным формулам находить значения приведенной геометрической жесткости рассматриваемых сечений.

4 Графическое изображение зависимостей $i_k - K_f$ позволяет наглядно представить место искомого решения в рассматриваемом подмножестве форм сечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Прочность, устойчивость, колебания: Справочник в трех томах. Под общей редакцией И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 832 с.
- 2 Суслов, В.П. Строительная механика корабля и основы теории упругости [Текст] / В.П. Суслов, Качанов Ю.П. Спихтаренко В.Н. – Л.: Судостроение, 1972. – 720 с.
- 3 Феофанов, А.В. Строительная механика авиационных конструкций [Текст] / А.В. Феофанов. М.: Машиностроение, 1964. – 136 с.
- 4 Справочник по теории упругости [Текст]. – Киев: Изд-во «Будівельник», 1974. – 419 с.
- 5 Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 302 с.
- 6 Коробко, В.И. Графическое представление границ изменения геометрической жесткости сечений в виде выпуклых фигур при кручении [Текст] / В.И. Коробко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 1986. - № 3. – С. 3-7.
- 7 Коробко, В.И., Строительная механика пластинок [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 410 с.
- 8 Савин, С.Ю. Расчет ортотропных пластин в виде правильных многоугольников с однородными граничными условиями [Текст] / С.Ю. Савин, В.И. Коробко // Строительство и реконструкция. – 2011. - № 1. – С. 3-11.
- 9 Савин, С.Ю. Изгиб ортотропных пластинок в виде параллелограмма с однородными и комбинированными граничными условиями [Текст] / Савин, С.Ю., В.И. Коробко, // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. - № 2. – С. 18-23.
- 10 Черняев, А.А. Определение максимального прогиба ромбических пластинок с комбинированными граничными условиями с использованием отношения конформных радиусов [Текст] / А.А. Черняев, В.И. Коробко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – № 4. – С. 21-25.
- 11 Черняев, А.А. К вопросу расчета пластинок средней толщины из условий жесткости [Текст] / А.А. Черняев // Региональная архитектура и строительство. – 2012. - № 1. – С. 83-89.

Коробко Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и инженерной графики

E-mail: sapr@ostu.ru

Балихина Юлия Евгеньевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

Аспирант кафедры строительных конструкций и материалов

E-mail: jbalikhina@gmail.com

A.V. KOROBKO, Y.E. BALIKHINA

THE DEFINITION OF THE GEOMETRIC TORSIONAL RIGIDITY FOR SECTIONS IN THE SHAPE OF THE FIGURE INTERMEDIATE BETWEEN A CIRCLE AND A REGULAR POLYGON

The problem of calculating elastic torsion bars is one of the most important today's problems in the field of structural mechanics. Many construction and engineering structures in the form of bar systems undergo torsional deformation. The geometric stiffness of its cross-sections is determined when calculating such structures in the first place. This physical parameter is used in assessing the stress-strain state of structural elements working on torsion. In the structural mechanics and the elasticity theory, only a few solutions for determining of the geometric stiffness of sections are known in the form of an ellipse, a rectangle, an isosceles triangle. Approximate methods of calculation are used at more complex cross-sections, mostly numerical ones.

In the last two decades, in the study and solution of two-dimensional problems of the elasticity theory and the technical theory of plates, the geometric method, the interpolation method of the shape factor (IMSF), actively develops and uses, the basis of which are the isoperimetric properties of the integral geometrical characteristic of the region shape (plates, membranes, sections). This method is applicable for the task of elastic torsion of bars, but to date it has not received a decent development. In

this article, with the help of IMSF, the reduced geometric stiffness of cross-sections for bars with sections in the form of figures intermediate between a circle and regular polygons is determined. A circular cross-section and sections in the form of a regular polygon are used as "reference" sections with known values of reduced geometric stiffness.

A subset of sections between a circle and a regular polygon is obtained by successive synchronous clipping of its parts from the circle by straight lines, which are parallel to the sides of the regular polygon. Interpolation of "reference" solutions for any sections from the considered subset is carried out by the shape factor. Simple interpolation functions are constructed that allow one to find the desired solution for the considered subset of cross-section forms by elementary formulas using a single argument - the shape factor.

The presented in the article graphical depiction of the dependencies "reduced geometric stiffness - the shape factor" makes it possible to visualize the place of the desired solution in the subset of the cross-section forms under consideration.

Keywords: reduced geometric rigidity of sections, torsion, shape factor, isoperimetric properties.

REFERENCES

- 1 Prochnost', ustoychivost', kolebaniya: Spravochnik v trekh tomakh. Pod obshchey redaktsiyey I.A. Birge-ra i YA.G. Panovko. – M.: Mashinostroyeniye, 1968. – 832 s.
- 2 Suslov, V.P. Stroitel'naya mekhanika korablya i osnovy teorii uprugosti [Tekst] / V.P. Suslov, Kachanov YU.P. Spikhtarenko V.N. – L.: Sudostroyeniye, 1972. – 720 s.
- 3 Feofanov, A.V. Stroitel'naya mekhanika aviatsionnykh konstruksiy [Tekst] / A.V. Feofanov. M.: Mashinostroyeniye, 1964. – 136 s.
- 4 Spravochnik po teorii uprugosti [Tekst]. – Kiyev: Izd-vo «Budivel'nik, 1974. – 419 s.
- 5 Korobko, A.V. Geometricheskoye modelirovaniye formy oblasti v dvumernykh zadachakh teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: Izd-vo ASV, 1999. – 302 s.
- 6 Korobko, V.I. Graficheskoye predstavleniye granits izmeneniya geometricheskoy zhestkosti secheniy v vide vypuklykh figur pri kruchenii [Tekst] / V.I. Korobko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. – 1986. - № 3. – S. 3-7.
- 7 Korobko, V.I., Stroitel'naya mekhanika plastinok [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: Iz-datel'skiy dom «Spektr», 2010. – 410 s.
- 8 Savin, S.YU. Raschet ortotropnykh plastin v vide pravil'nykh mnogougol'nikov s odnorodnymi granichnymi usloviyami [Tekst] / S.YU. Savin, V.I. Korobko // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2011. - № 1. – S. 3-11.
- 9 Savin, S.YU. Izgib ortotropnykh plastinok v vide parallelogramma s odnorodnymi i kombinirovannymi granichnymi usloviyami [Tekst] / Savin, S.YU., V.I. Korobko, // Stroitel'naya mekhanika i raschet so-ruzheniy. – 2012. - № 2. – S. 18-23.
- 10 Chernyayev, A.A. Opredeleniye maksimal'nogo progiba rombicheskikh plastinok s kombinirovannymi granichnymi usloviyami s ispol'zovaniyem otnosheniya konformnykh radiusov [Tekst] / A.A. Chernyayev, V.I. Korobko // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2011. – № 4. – S. 21-25.
- 11 Chernyayev, A.A. K voprosu rascheta plastinok sredney tolshchiny iz usloviy zhestkosti [Tekst] / A.A. Chernyayev // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. – 2012. - № 1. – S. 83-89.

A.V. Korobko

OSU named after I.S. Turgenev

Doctor of Tech. Sciences, Professor, Department Technical Mechanics and Engineering Graphics

E-mail: sapr@ostu.ru

Y.E. Balikhina

OSU named after I.S. Turgenev

Postgraduate student, Department of Building construction and materials

E-mail: jbalikhina@gmail.com

КОСАУРОВ А. П.

УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

В работе проведен анализ сейсмической опасности района Керченского пролива с использованием вероятностного метода. Изучены зарубежные и отечественные источники и составлена база землетрясений, включающая 176 событий, произошедших в радиусе 100 километров от пролива. Учтено наличие в базах землетрясений форшоков и афтершоков. Выявлены пять сейсмогенерирующих зон в виде сейсмогенных поверхностей, равномерно распределенных по глубине и точечных источников и указаны их основные характеристики. Для оценки полноты баз данных для каждой из зон использован метод Степа. В качестве зависимости между числом землетрясений и магнитудой применялся закон Гуттенберга-Рихтера. Проведено сравнение полученных значений пиковых ускорений на поверхности со значениями, рассчитанными согласно картам ОСР-2016 и СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах». Получены графики изменения пикового ускорения грунта по глубине с использованием линейного эквивалентного метода.

Ключевые слова: сейсмичность, Керченский пролив, вероятностный метод, сейсмогенные зоны, линейный эквивалентный метод

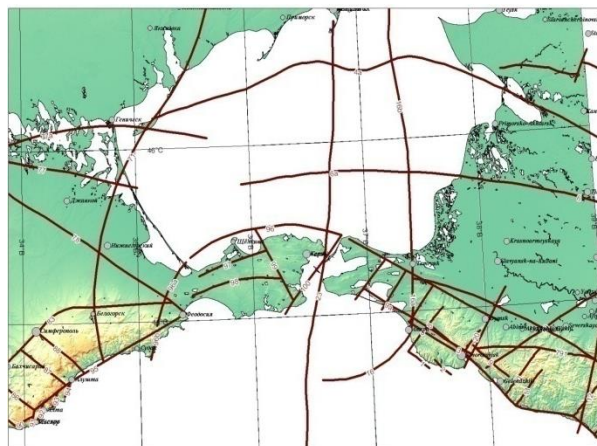
Согласно картам ОСР-2016 район Керченского пролива входит в число наиболее сейсмически опасных районов России и характеризуется высокой современной тектонической активностью, проявляющейся преимущественно в «...деформациях молодых геологических образований, грязевом вулканизме и движениях земной поверхности» [5].

Многочисленные источники [1,2,4,5,6] свидетельствуют о значительном количестве произошедших за последние 100 лет землетрясений в регионе, однако, их магнитуда не превышает 5.5 – 5.7. Высокая сейсмическая опасность района, прежде всего, обусловлена большим количеством потенциально опасных разломов (Рисунок 1) и разрушительными землетрясениями прошлого магнитудой до 7.5.

Несмотря на огромную проделанную работу при создании карт ОСР, они не могут учитывать местную специфику площадки строительства, и потому, согласно СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», необходимо уточнять исходную сейсмичность и проводить сейсмическое микрорайонирование.

Для оценки сейсмической опасности применяются два метода: вероятностный и детерминистский. У каждого из подходов есть свои плюсы и минусы, однако, в случае присутствия значительных неопределенностей в исходной информации, вызванных малым периодом наблюдения за районом, вероятностный метод имеет преимущество.

Сущность вероятностного метода оценки сейсмической опасности района заключается в вычислении вероятности λ , при которой уровень колебаний грунта A_0 будет достигнут или превышен величиной A [9,10]:



**Рисунок 1 - Активные разломы в районе
Керченского пролива**

$$\lambda(A \geq A_0) = \sum_{i=1}^{n_{source}} v_i \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^{n_R} P[A(m, r) \geq A_0 | m_j, r_k] P(M_i = m_j) P(R_i = r_k)$$

где $f_{M_i}(m)$ - функция плотности вероятности магнитуд, которая описывает вероятность события с магнитудой заданной в определенных пределах;

$f_{R_i}(r)$ - функция плотности вероятности расстояния от гипоцентра до исследуемого участка;

$P[A(m, r) \geq A_0 | m, r]$ - вероятность превышения пикового ускорения A_0 , в случае, если землетрясение магнитудой m произошло на расстоянии r . Данная функция зависит от выбранной модели затухания колебаний;

v_i - частота возникновения землетрясений магнитудой больше минимальной m_{min} для отдельного источника i из общего числа источников N_s .

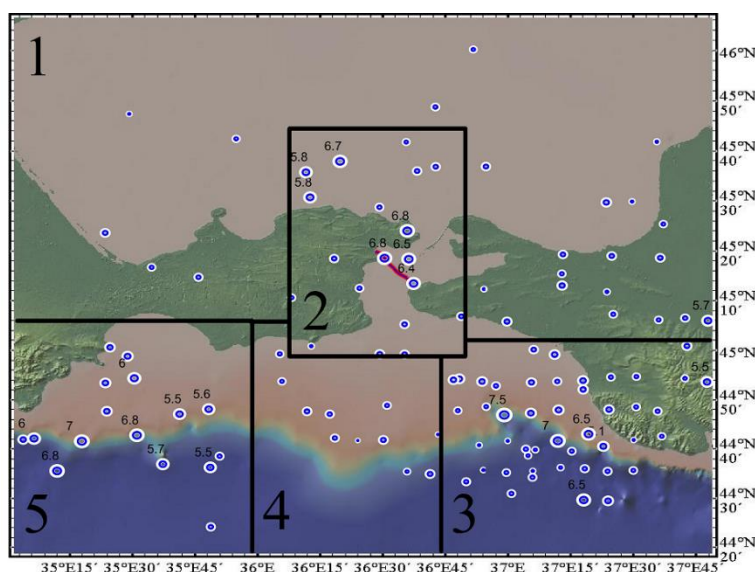


Рисунок 2 - Карта сейсмогенерирующих зон, с указанием расположения эпицентров землетрясений и их магнитуды

База данных землетрясений была собрана с использованием российских и зарубежных источников [1,2,4,5,6]. В нее вошли данные как инструментальных наблюдений за последние 50 лет, так и исторические данные. Она была проверена на совпадения, наличие афтершоков, форшоков и в результате включает в себя 176 землетрясений.

Территория вокруг Керченского пролива была разбита на несколько сейсмогенерирующих зон для каждой из которых число зафиксированных землетрясений варьируется от 25 до 50. Карта с указанием, полученных 5 сейсмогенерирующих зон, показана на рисунке 2.

В таблице 1 представлена исходная информация по каждой зоне: для сейсмогенных поверхностей и точечных источников.

Таблица 1 - Исходная информация для сейсмогенных зон

Номер сейсмогенной зоны	Тип разлома	Максимальная ожидаемая магнитуда	Минимальная ожидаемая магнитуда	Скорость деформаций, мм/год (в скобках расчетная)	Площадь разлома Км ²	Глубина, км
1	сбросо-сдвиговой	5.2	4.5	2.1	17.5	8-50 (24)
		6			93	-
2	сдвиговой	6.5		2.1 (2.0)	266	8-50 (24)
		7.5			1422	-
3	сбросо-сдвиговой	6.5		2.1 (5.7)	266	8-50 (24)
		7.5			1422	-
4	сбросо-сдвиговой	5.5		2.1 (2.3)	33	8-50 (24)
5	сбросо-сдвиговой	6		2.1 (3.3)	93	8-50 (24)
		7			758	-

В качестве зависимости между числом землетрясений и магнитудой применялся закон Гуттенберга-Рихтера (G–R) [7, 9, 10]:

$$\text{Log}(N) = a - bm$$

где m – магнитуда;

N – число событий магнитудой равной или большей выбранной « m »;

a и b – константы, которые зависят от m и N .

В таблице 2 представлены полученные методом наименьших квадратов значения параметров a и b для каждой из зон с указанием 95% доверительного интервала.

Для расчета была принята модель затухания колебаний в грунте предложенная S. Akkar (2014) [7,8], поскольку она отвечает требованиям по максимальной и минимальной магнитуде, расстоянию до эпицентра, глубине, полноте использованной при создании базы данных землетрясений и точности получаемых результатов в сравнении с другими моделями.

Расчет проводился для скального грунта с сейсмической жесткостью 1500 т/м·с, поскольку это повышает точность при использовании эмпирических моделей затухания колебаний в толще грунта [12]. В дальнейшем значения пикового ускорения грунта строительной площадки (Рисунок 3) были получены с использованием линейного эквивалентного метода расчета слоев грунта на сейсмическое воздействие и кривых зависимости динамических параметров грунта «GeoIndex Model» [11].

Расчет слоев грунта проводился с использованием нормализованных акселерограмм 10 землетрясений, чьи эпицентры были расположены в зоне 2. Для дальнейшего расчета было выбрано среднее значение 10 пиковых ускорений и максимальное значение из 10 пиковых ускорений.

На рисунке 4 показан график зависимости периода повторяемости землетрясений от пикового ускорения для наиболее и наименее опасных участков площадки строительства.

Поскольку сравнение полученных результатов расчета будет вестись со значениями пикового ускорения в данном регионе согласно картам ОСР-2016, то необходимо, прежде всего, определить пиковое ускорение грунта согласно нормам СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».

В таблице 3 представлены данные по району Керченского пролива в соответствии с картами ОСР-2016 и положением (Г.3.17) СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических

Таблица 2 – Значения параметров a и b для каждой зоны

Номер сейсмогенной зоны	Параметр a	Параметр b
1	1.797	0.609
	± 0.166	± 0.0451
2	2.02	0.658
	± 0.415	± 0.075
3	6.659	1.914
	± 0.717	± 0.134
4	3.511	1.086
	± 0.571	± 0.1616
5	2.416	0.8153
	± 0.668	± 0.1149

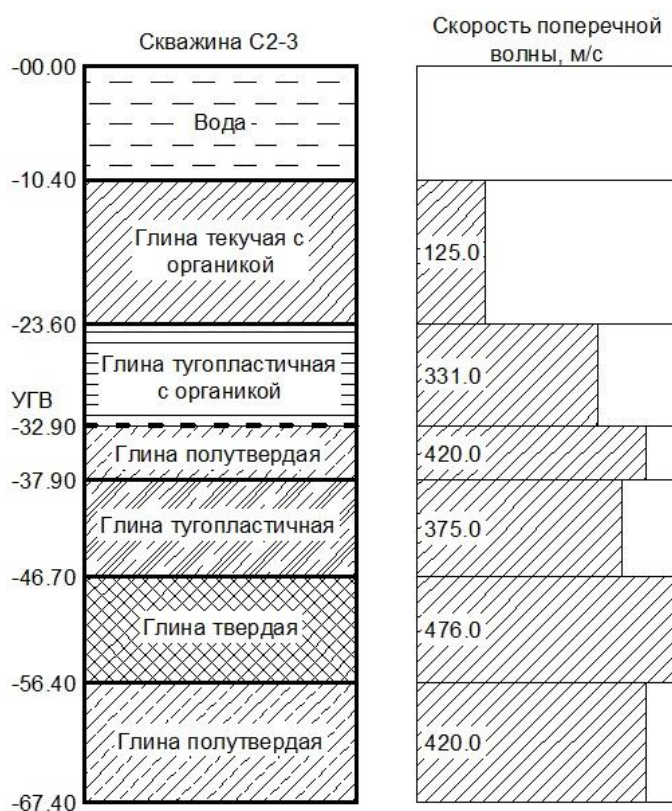


Рисунок 3 - Схема скважины С2-3 с указанием скорости поперечной волны в грунте

районах» о поправочном коэффициенте « K_3 » на динамические свойства расчетной грунтовой толщи.

В таблице 4 представлены результаты проведенного расчета для скального грунта и поверхности строительной площадки с сейсмическими жесткостями 1500 т/м·с и 458 т/м·с соответственно.

Таблица 3 – Данные по району Керченского пролива

Карта ОСР – 2016	А	В	С
Вероятность превышения	10%	5%	1%
Период	50 лет	50 лет	50 лет
Балл	8	8-9	9
PGA, м/с ²	2.0	4.0	4.0
PGA*K ₃ , м/с ²	2.39	4.79	4.79

Таблица 4 – Результаты проведенного расчёта

		Пиковое ускорение поверхности грунта, м/с ²		
Вероятность превышения		10%	5%	1%
Скальный грунт		0.8	1.3	3.2
Грунт строительной площадки	среднее значение	2.5	3.1	4.1
	максимальное значение	2.8	3.6	5.5

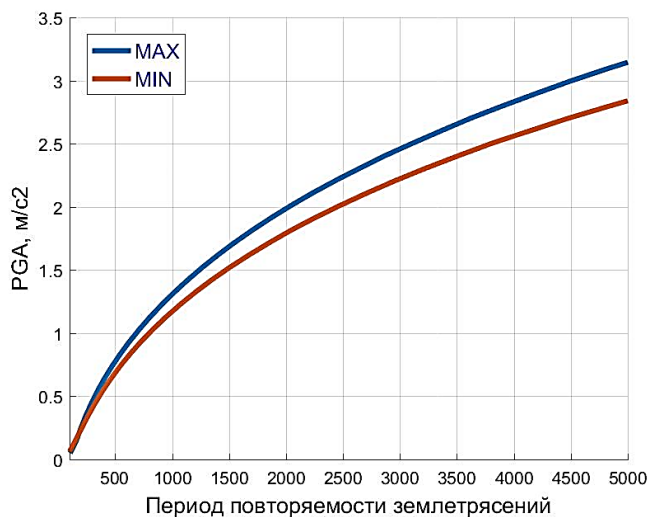


Рисунок 4 - Зависимость периода повторяемости землетрясений от пикового ускорения

Поскольку при строительстве моста через Керченский пролив используется свайный фундамент, то большой интерес представляют значения пикового ускорения для разных слоев грунта (Рисунок 5).

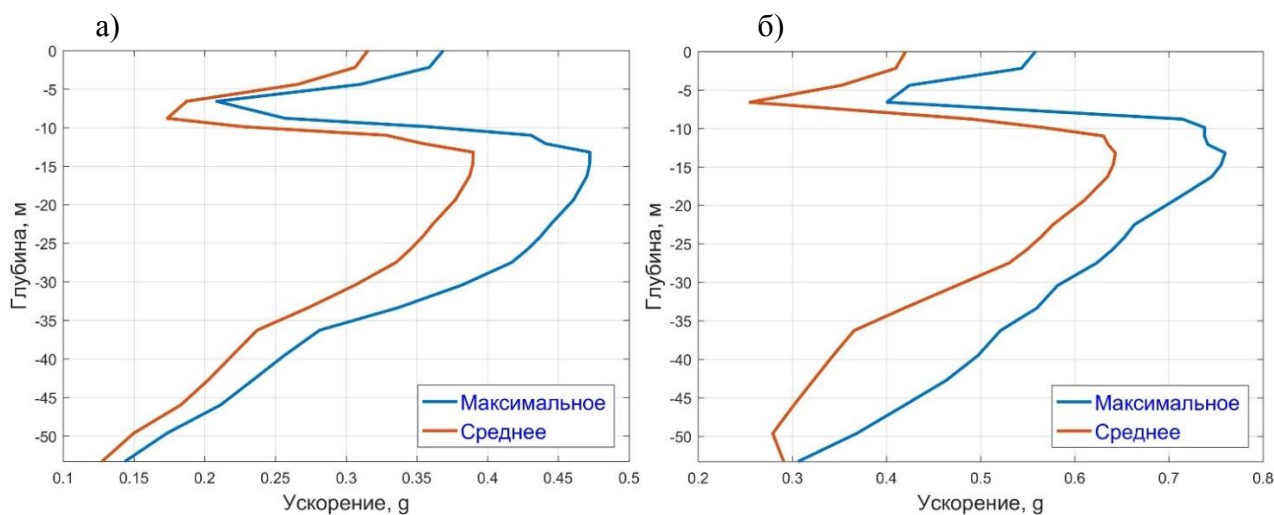


Рисунок 5 – Графики изменения пикового ускорения грунта по глубине для 5% (а) и 1% (б) вероятности превышения соответственно

На рисунке 5 хорошо заметно, значительное снижение пикового ускорения грунта на глубине 8 – 10 м. Это объясняется резким перепадом в скорости поперечной волны (рисунок 3) и как следствие изменением резонансной частоты колебания грунта. Данный эффект проиллюстрирован на рисунке 6, где показаны графики отношения амплитудных спектров Фурье акселерограмм полученных на разных глубинах и исходной акселерограммы. Поскольку доминирующей частотой для акселерограммы на глубине 13.2 м. является 1.1 Hz (Рисунок 7), а на глубине 8.8 м. данная частота затухает (Рисунок 6), то происходит резкое снижение значения пикового ускорения.

Выводы

Полученные результаты расчета показывают большие пиковые ускорения грунта, чем те, которые получены согласно картам ОСР-2016 и СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах». Однако следует учитывать, что это, прежде всего, вызвано наличием слабых грунтов в зоне строительства. Данные грунты усиливают пиковые значения ускорения колебаний более чем в два с половиной раза, что согласно СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», должно учитываться поправочным коэффициентом K_3 . Как, однако было отмечено [3], данная формула вносит в расчет значительные погрешности, что приводит к заниженным результатам при определении пикового ускорения

Расчет слоев грунта на сейсмическое воздействие показал значительные перепады пикового ускорения по глубине, вызванное скачками в скорости распространения поперечной волны в грунте. В дальнейшем это может негативно сказаться на работе свайного фундамента.

В работе была рассмотрена одна скважина, которая не может в полной мере характеризовать площадку строительства протяженностью 20 км. В случае проведения более полного анализа также необходимо учитывать возможность разжижения грунта, поскольку на других участках присутствуют песчаные грунты, которые при столь значительных ускорениях грунта могут подвергнуться разжижению. Присутствие сравнительно мощного верхнего слоя слабого грунта, обуславливает необходимость проведения двумерного расчета с целью учета влияния поверхностных волн.

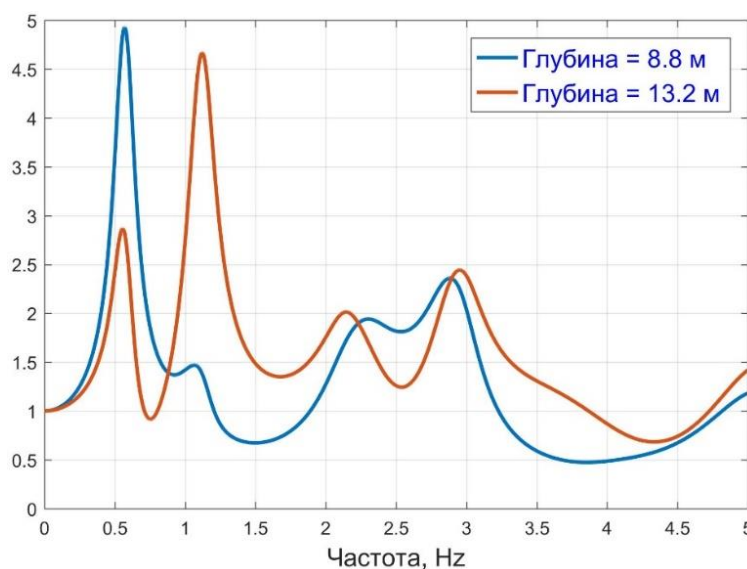


Рисунок 6 – Графики отношения амплитудных спектров Фурье

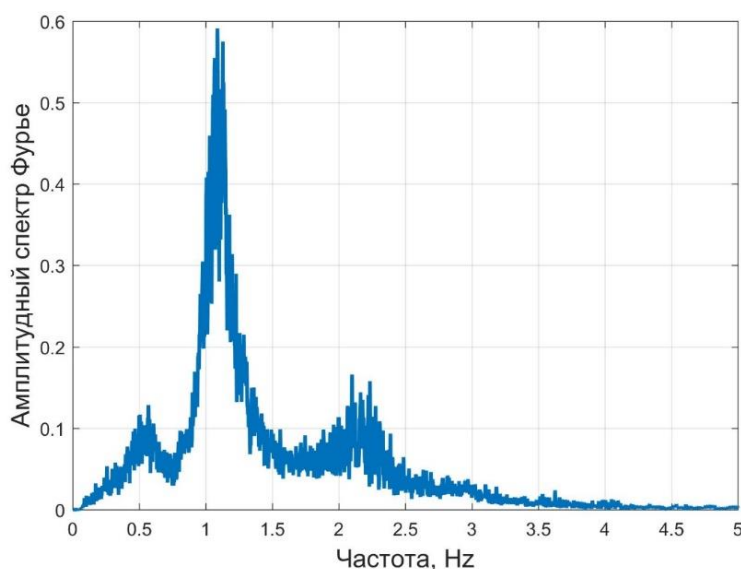


Рисунок 7 – Амплитудный спектр Фурье акселерограммы на глубине 13 м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К оценке сейсмической опасности района керченского пролива по данным археосейсмологии [Текст] / Н.И. Винокуров и др. // Вопросы инженерной сейсмологии. – М., 2015. – Т. 42. – С. 51 – 66
2. Габсатарова, И. П. Землетрясение 10 декабря 2012 года с $M_w = 4.6$ вблизи г. Анапы [Текст] / И.П. Габсатарова, Л.С. Малянова, Е.А. Селиванова, В.Н. Якушева // Сейсмологическая бюллетень Украины. – 2013. – С. 35-45
3. Курбацкий, Е.Н. К вопросу о пересчете балльности в ускорения колебаний грунта [Текст] / Е.Н. Курбацкий, А.П. Косауров // Инженерная сейсмология. – 2016. – №14. – С. 50 – 60
4. Никонов, А.А. Главные особенности геодинамики, напряженного состояния и распределения сильных землетрясений в азово-черноморском регионе [Текст] / А.А. Никонов // Труды четвертой тектонофизической конференции в ИФЗРАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. – М., 2016. – С. 493 – 501.
5. Овсяченко, А. Н. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова по палеосейсмологическим данным [Текст] / А.Н. Овсяченко, А.М. Корженков, А.С. Ларьков, А.В. Мараханов, Е.А. Рогожин // Доклады академии наук. – М., 2017. – том 472. – № 1. – С. 89–92
6. Уломов, В.И. Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации [Электронный ресурс] / В.И. Уломов, Н.С. Медведева // Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, РАН. - URL: www.seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf (дата обращения 26.05.2017)
7. Akkar, S. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the middle east / S. Akkar, M.A. Sandikkaya, J.J. Bommer // Springer Science, Bulletin of Earthquake Engineering, 2013
8. John, D. Ground motion prediction equations 1964-2016 [Электронный ресурс] // Department of Civil and Environmental Engineering University of Strathclyde, UK. - URL: www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.pdf (дата обращения 26.05.2017)
9. Jessica, G. Probabilistic seismic hazard analysis – an introduction to theoretical basis and applied methodology [Электронный ресурс] // URL: www.roseschool.it/files/get/id/4440 (дата обращения 26.05.2017)
10. Jack, W. B. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) [Электронный ресурс] // URL: [https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker \(2008\) Intro to PSHA v1 3.pdf](https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker%20(2008)%20Intro%20to%20PSHA%20v1%203.pdf) (дата обращения 26.05.2017)
11. Roblee, C.J. The geoindex model for practical design selection of non-linear soil properties / C.J. Roblee, S.J. Chiou // 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. – 2006. –No. 1630. – 11 p.
12. Stewart, P.J. Guidelines for performing hazard-consistent one-dimensional ground response analysis for ground motion prediction / P.J. Stewart, M.A. Hashash // PEER Report 2014 Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters, University of California at Berkeley, USA. -2014. - 152 p.

Косауров Артем Петрович

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Аспирант кафедры «Мосты и тоннели»

E-mail: artkp14@mail.ru

A.P. KOSAUROV

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF THE KERCH STRAIT AREA

The work analyzes the seismic hazard in the Kerch Strait area using the probabilistic method. Foreign and domestic sources have been studied and a database of earthquakes has been compiled, including 176 events that occurred within a radius of 100 kilometers from the strait. The presence of foreshocks and aftershocks in the earthquake databases was taken into account. Five seismogenerating zones in the form of seismogenic surfaces uniformly distributed in depth and point sources are identified and their main characteristics are indicated. To assess the completeness of databases for each of the zones, the Step method is used. As a relationship between the number of earthquakes and the magnitude, the Gutenberg-Richter law was applied. The obtained values of peak accelerations on the surface are compared with the values calculated according to the maps OCP-2016 and SP 14.13330.2014 "Construction in seismic regions". The plots of the changes in the peak acceleration of the soil in depth are obtained using linear equivalent method.

Key words: seismicity, Kerch Strait, probabilistic method, seismogenic zones, linear equivalent method

REFERENCES

1. K otsenke seysmicheskoy opasnosti rayona kerchenskogo proliva po dannym arkhoseysmologii [Tekst] / N.I. Vinokurov i dr. // Voprosy inzhenernoy seysmologii. – M., 2015. – T. 42. – S. 51 – 66.
2. Gabsatarova, I. P. Zemletryaseniye 10 dekabrya 2012 goda s $M_w = 4.6$ vblizi g. Anapy [Tekst] / I.P. Gabsatarova, L.S. Malyanova, Ye.A. Selivanova, V.N. Yakusheva // Seysmologicheskaya byulleten' Ukrainy. – 2013. – S. 35-45.
3. Kurbatskiy, Ye.N. K voprosu o pereschete ball'nosti v uskoreniya kolebaniy grunta [Tekst] / Ye.N. Kurbatskiy, A.P. Kosaurov // Inzhenernaya seysmologiya. – 2016. – №14. – S. 50 – 60.
4. Nikonov, A.A. Glavnyye osobennosti geodinamiki, napryazhennogo sostoyaniya i raspredeleniya sil'nykh zemletryaseny v azovo-chernomorskom regione [Tekst] / A.A. Nikonov // Trudy chetvertoy tektonofizi-cheskaya konferentsiya v IFZРАН. Tektonofizika i aktual'nyye voprosy nauk o zemle. – M., 2016. – S. 493 – 501.
5. Ovsyuchenko, A. N. Novyye svedeniya ob ochagakh sil'nykh zemletryaseny v rayone Kerchenskogo poluostrova po paleoseysmologicheskim dannym [Tekst] / A.N. Ovsyuchenko, A.M. Korzhnikov, A.S. Lar'kov, A.V. Marakhanov, Ye.A. Rogozhin // Doklady akademii nauk. – M., 2017. – tom 472. – № 1. – S. 89–92
6. Ulomov, V.I. Spetsializirovanny katalog zemletryaseny dlya zadach obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / V.I. Ulomov, N.S. Medvedeva // Institut fiziki Zemli im. O.YU. Shmidta, РАН. - URL: www.seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-SKZ.pdf (data obrashcheniya 26.05.2017)
7. Akkar, S. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the middle east / S. Akkar, M.A. Sandikkaya, J.J. Bommer // Springer Science, Bulletin of Earthquake Engineering, 2013
8. John, D. Ground motion prediction equations 1964-2016 [Elektronnyy resurs] // Department of Civil and Environmental Engineering University of Strathclyde, UK. - URL: www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.pdf (data obrashcheniya 26.05.2017)
9. Jessica, G. Probabilistic seismic hazard analysis – an introduction to theoretical basis and applied methodology [Elektronnyy resurs] // URL: www.roseschool.it/files/get/id/4440 (data obrashcheniya 26.05.2017)
10. Jack, W. B. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) [Elektronnyy resurs] // URL: [https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_\(2008\)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf](https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_(2008)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf) (data obrashcheniya 26.05.2017)
11. Roblee, C.J. The geoindex model for practical design selection of non-linear soil properties / C.J. Roblee, S.J. Chiou // 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. – 2006. –No. 1630. – 11 p.
12. Stewart, P.J. Guidelines for performing hazard-consistent one-dimensional ground response analysis for ground motion prediction / P.J. Stewart, M.A. Hashash // PEER Report 2014 Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters, University of California at Berkeley, USA. -2014. - 152 p.

A.P. Kosaurov

Russian University of Transport (MIIT), Moscow
Postgraduate Student of the Bridges and Tunnels Department
E-mail: artkp14@mail.ru

КРИВОШАПКО С.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНОИДА И ЦИЛИНДРОИДА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБОЛОЧЕЧНОГО ТИПА

Среди десятков известных линейчатых поверхностей, которые можно приять за срединные поверхности оболочек, находят применение линейчатые поверхности нулевой гауссовой кривизны: цилиндрические, конические и реже торсовые, а также линейчатые поверхности отрицательной гауссовой кривизны: однополостные гиперболоиды, гипары, коноиды и реже цилиндроиды. Наибольшее распространение в современном строительстве получили круговые и параболические цилиндрические и конические поверхности, однополостные гиперболоиды вращения и гипары благодаря хорошо изученной геометрии их формы, существованию методов их расчета на прочность, устойчивость и динамику и их востребованности для практических нужд. Однако не прекращаются теоретические исследования и коноидальных оболочек, поиск возможностей их оптимального применения. Некоторые новые сведения по расчету прямых коноидальных оболочек на прочность, определению их частот собственных колебаний, знаковые примеры их применения для шедовых покрытий промышленных предприятий, для крыш частных вилл и общественных зданий, летних театров и музеев, в современных скульптурных комплексах приводятся в представленном обзоре. Показано, что в меньших масштабах, но продолжается проектирование и строительство коноидальных оболочек в 2000-2017 годах

Вся основная приведенная библиография датируется XXI веком.

Ключевые слова: линейчатая поверхность, коноид, цилиндرويد, коноидальная оболочка, статический расчет, собственные колебания.

Введение

В настоящее время известны, описаны и рекомендованы для внедрения сотни геометрических прототипов геометрических форм сооружений [1], но применяются на практике только десяток поверхностей [2]. Конечно, оболочки в форме коноидов и цилиндроидов применяются намного реже, чем конические, сферические, зонтичные оболочки [3] или параболические оболочки вращения [4], оболочки в форме однополостного гиперболоида [5] и ряд других [6].

При подготовке этого обзора автор встретил два взаимно противоположных утверждения: первое состоит в том, что коноидальные оболочки только сейчас нашли ограниченное применение в реальных конструкциях и сооружениях, а второе говорит, что эти оболочки пользовались популярностью только до середины прошлого века. Автор не согласен ни с одним из этих утверждений, а считает, что истина находится посередине. Просто надо помнить, что после 1965 г. бум строительства большепролетных железобетонных оболочек начинает затихать, т.е. закончилась эпоха «золотого века тонких оболочек» (1922-1965). Строятся только функционально необходимые оболочки, например градирни, или оболочки, являющиеся дополнением к основному сооружению.

Впервые наиболее полная информация о возможностях применения коноида применительно к архитектуре зданий и конструкций была дана в статье [7] с 40 наименованиями использованной литературы, где приведено несколько примеров реальных коноидальных конструкций и приведена хронология развития методов статического и динамического расчета этих оболочек. Затем в работе [8] уже с 65 наименованиями использованной литературы количество реальных примеров коноидов и цилиндроидов было увеличено. В табл. 1 перечислены объекты в форме коноидов и цилиндроидов, упомянутые в работах [7, 8].

Отметим также, что впервые коноидные оболочки появились во Франции, затем в Чехословакии, Италии и особенно Польше, благодаря В. Залевскому, который ими занимался.

Таблица 1 – Здания, сооружения и конструкции в форме коноидов и цилиндридов

Название	Город	Страна	Авторы	Построен в
Коноидальная шедовая оболочка		Франция	Э. Фрейсине	1928 г.
Локомотивное депо		Румыния		
Католический собор		Канада		
Католический собор	Орс	Дания		
Временная детская школа	Барселона	Испания	А. Гауди	1909-1936 г., перестроена в 2002 г.
Шедовое покрытие		Болгария	И. Доганов	1955 г.
Склад для хранения соли		Чехословакия	арх. Рубан	
Открытый товарный склад	Мехико	Мексика	арх. Кандела и Рекамье	1952г.
Козырек здания	Мехико	Мексика	арх. Кандела и Прието	1955 г.
Навесы в Оклендском международном аэропорту	Oakland, Калифорния	США		

Определения и описания поверхностей

Коноид – поверхность Каталана, все прямолинейные образующие которой пересекают фиксированную прямую – *ось коноида* [9]. *Поверхность Каталана* – линейчатая поверхность, прямолинейные образующие которой параллельны одной и той же *плоскости параллелизма*.

Таким образом, коноид – это линейчатая поверхность (рис. 1), образованная движением прямой, которая остается параллельной фиксированной плоскости P , пересекает неподвижную прямую AB (ось коноида) и неподвижную направляющую кривую C . Предполагается, что прямая AB не пересекает кривую C , но пересекает плоскость P . Простейшим коноидом является *гиперболический параболоид*, который образуется прямой, которая движется по двум скрещивающимся прямым, оставаясь параллельной неподвижной плоскости. В некоторых публикациях коноиды называют *клиновидными поверхностями*.

Коноид, у которого фиксированная прямая (ось) перпендикулярна плоскости параллелизма, называют *прямым коноидом*. Ось прямого коноида есть *стрикционная линия*. *Прямой геликоид* есть прямой коноид [10]. Прямой коноид впервые в практике был использован А. Гауди и поэтому архитекторы иногда называют ее *поверхностью Гауди* [11]. Само формирование коноидов содержит источник архитектурного разнообразия.

В настоящее время, известны 12 коноидальных поверхностей [1, 9]: прямой винтовой коноид (прямой геликоид), непрерывно-топографическая линейчатая поверхность с распределяющим эллипсом, параболической коноид (рис. 2), коноид с направляющей окружностью, коноид с направляющей цепной линией, прямой синусоидальный коноид (рис. 3), прямой коноид с направляющей параболой, ось которой параллельна оси коноида; коноид Плюккера, коническая кромка Уоллиса, коноид Циндлера, эвольвентный коноид и гипар (гиперболический параболоид).

В работе [12] предлагается разделить коноидальные поверхности на три типа: коноиды Плюккера, коноиды Купера (the Küper conoids) и коноиды Вивиани (the Viviani conoids).

По геометрии, расчету на прочность, устойчивость, колебания и применению оболочек в форме прямого геликоида [8, 10] и гиперболического параболоида написаны сотни научных статей, монографий и диссертаций, поэтому мы остановимся только на применении оставшихся десяти коноидальных поверхностей.

Цилиндронид – линейчатая поверхность, образованная движением прямолинейной образующей по двум криволинейным направляющим, причем во всех положениях образующая прямая параллельна некоторой *плоскости параллелизма* [13]. Цилиндрониды являются поверхностями отрицательной гауссовой кривизны ($K < 0$), поэтому их нельзя развернуть на плоскость без разрывов и складок [14]. Они принадлежат к семейству *поверхностей Каталана*. Цилиндрониды, за исключением винтового цилиндрида (*прямого геликоида*) не могут иметь постоянную среднюю кривизну ($H \neq \text{const}$). *Цилиндрические поверхности* ($K = 0$) могут быть получены как частные случаи цилиндридов.

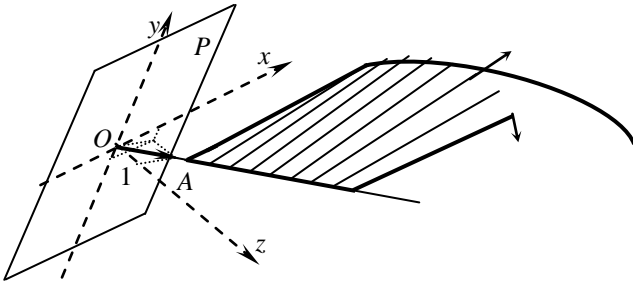


Рисунок 1 – Формообразование коноида

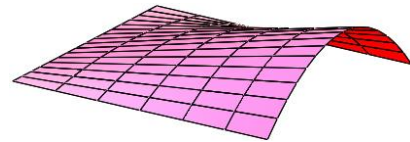


Рисунок 2 – Прямой параболический коноид

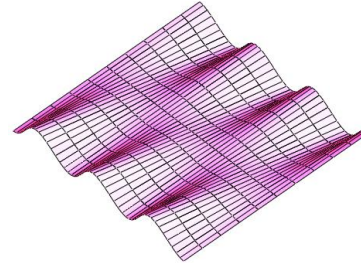


Рисунок 3 – Прямой синусоидальный коноид (две полости)

Цилиндронид, у которого одна из двух направляющих линий является прямой, называется *коноидом*. Таким образом, коноид является частным случаем цилиндроида.

Винтовой цилиндронид – поверхность, образованная прямой линией, которая движется в пространстве, параллельно плоскости параллелизма, все время пересекаясь с винтовой линией и касаясь поверхности прямого кругового цилиндра. Ось винтовой линии и цилиндра совпадают. Образующая прямая и ось скрещиваются под прямым углом, следовательно, плоскость параллелизма перпендикулярна оси

В настоящее время, известны 5 цилиндронидов [1]: цилиндронид с двумя направляющими эллипсами, цилиндронид с двумя направляющими окружностями во взаимно перпендикулярных плоскостях, цилиндронид Фрезера, цилиндронид Болла, цилиндронид с параболой и синусоидой на параллельных торцах.

Коноид в архитектуре



Рисунок 4 – Покрытие железнодорожной станции «Oxford Road Station», Манчестер, Англия, 1960

расходу железобетона менее экономичны, чем шеды из эллипсоидальных оболочек [16]. В коноидальных крышах второго типа ось коноида AB расположена вдоль координатной оси y (рис. 1). В коноидальных крышах третьего типа ось коноида расположена вне пределов крыши, т.е. один торец совпадает с направляющей кривой C (рис. 1), а противоположный торец очерчен кривой пересечения плоскости параллельной плоскости, в которой лежит кривая C , с коноидом.

Бывший президент Международной ассоциации пространственных конструкций (IASS) Г. Рюле (H. Rühle) предлагает ввести 4-й тип коноидальных крыш: короткие оболочки

Три основных типа коноидальных крыш выделены в работе [15] на стр. 527 в зависимости от положения оси коноида. Первый тип – это шедовые покрытия промышленного назначения, которые дают возможность лучше освещать интерьеры помещений (рис. 4). Их форма обеспечивает удаление газа или задымления из перекрываемого участка, поэтому с конструктивной точки зрения коноидальные шедовые покрытия более рациональны, чем цилиндрические. Этим объясняется их довольно широкое применение в промышленном строительстве в первой половине XX-го века [8]. Однако шедовые покрытия, образованные поверхностью коноида, по

ки-коноиды размещены навстречу друг другу, благодаря чему повышается несущая способность покрытия.

Обычно проектируют коноидальные оболочки с пролетами от 12 м до 24 м и с отношением пролет – стрела подъема равным 2 : 1. Расчеты показывают, что пролет может достигать 60 м. В СССР, странах Восточной Европы, Франции и Италии коноидальные оболочки в 1950-60 годах широко использовались для покрытия промышленных зданий пролетом до 60 м. Эти оболочки – идеальная форма для зданий с консольными покрытиями.



а

б

в

Рисунок 5 – [11] Движущаяся скульптура «Волна» («Wave») в Далласе, США (а); «Стена Наций» («the Nations Walls») перед Олимпийским спорткомплексом в Афинах (б); the Bodegas Ysios winery building в Северной Испании (в)

Уже отмечалось ранее в статье, что А. Гауди был первым, кто применил поверхность коноида. Другой всемирно-известный испанский архитектор С. Калатрава распространил идею А. Гауди по применению синусоидального коноида на скульптуру «Волна», которую установили перед музеем в Далласе, США (рис. 5, а) в 2000 году. А в 2004 году та же идея была воплощена С. Калатравой в композиции «Стена наций», установленной перед Олимпийским спортивным комплексом в Афинах (рис. 5, б). Третий раз С. Калатрава использовал синусоподобный прямой коноид для покрытия здания в северной Испании (рис. 5, в).

Слабоволнистая коноидальная поверхность использована для покрытия зданий в Чешской Республике (Conoidally roofed buildings near Lipno nad Vltavou, the Czech Republic). Конек здания совпадает с прямой осью коноида. А 2 коноида образуют 2 ската крыши [11].

После А. Гауди синусоидальный коноид получил большую популярность среди архитекторов. Архитектор Дж. Грегори (Jules Gregory) в 1960 году построил даже личную резиденцию в Ламбертвилле (Lambertville, Нью-Джерси, США) в форме синусоидального коноида из дерева (рис. 6).



Рисунок 6 – Личная резиденция архитектора Дж. Грегори

Интересно поступил Г. Накашима (George Nakashima), сначала построив коноидальную крышу из фанеры (рис. 7) в 1956 году, а через некоторое время возвел дом с коноидальной крышей большего размера из железобетона (рис. 8), которая стала известна под названием «Коноидальная студия Георга Накашимы» (George Nakashima's Conoid Studio).

В качестве примера применения формы коноида можно привести покрытие лаборатории ассоциации «ТДА», которая расположена в Букингхамшире (Buckinghamshire) (рис. 9). Покрытие организовалось тремя коноидами. Около 1999 года это сооружение было разобрано для освобождения места для строительства других домов.

Другой уникальный пример использования формы прямого коноида в Англии - Oxford Road Station, Манчестер (рис. 4). Как и в случае с коноидальным покрытием лабора-

тории «TDA» это сооружение состоит из трех коноидов с несущими элементами из дерева. Построенная в 1958-1960 годах станция находится в хорошем состоянии и сейчас.



Рисунок 7 – Коноидальная крыша из фанеры



Рисунок 8 – Коноидальная студия [trystcraft.com], Vintage Modern Design



Рисунок 9 – Лаборатория «Timber Development Association», Tylers Green, Buckinghamshire, 1958



Рисунок 10 – Промышленное здание, Gossau, Швейцария

Несколько десятков деревянных шедовых коноидов, пропускающих северный свет, было построено в 1966 году в Нидерландах (the University of Delft). Они используются и сейчас.

Архитекторы Г. Данцейсен (Heinrich Danzeisen), Г. Возер (Hans Voser) и инженер Г. Госсдорф (Heinz Hossdorff) в 1954-1955 году разработали проект промышленного здания в форме системы усеченных коноидов (с осью коноида вне секции здания) (рис. 10), Gossau, Швейцария. Это здание стало известным тем, что коноиды опираются здесь не на угловые колонны, а на фундамент

на уровне земли.



Рисунок 11 – Dakshin Delhi Kalibari Temple, South Delhi, Индия



Рисунок 12 – Church at Atlantida, Uruguay

Современные формы в традиционную архитектуру храмовых сооружений народности хинди внесли проектировщики Сумит Гош (Sumit Ghosh) и Сучитра Гош (Suchitra Ghosh), используя железобетонные коноиды в конструкции верхней части храма Dakshin Delhi Kalibari Temple (рис. 11). Строительство было закончено в 1988 году. Коноиды позволили обеспечить удивительную акустику, хорошее мягкое освещение и естественную вентиляцию. В храме могут одновременно находиться около 300 посетителей.

У церкви в Атлантиде в 30 милях от Монтевидео (Уругвай) кирпичные стены толщиной 30 см вдоль длинных сторон в форме серии из десяти прямых параболических коноидов (рис. 12). Параболические направляющие кривые на уровне крыши формируют непрерывную кривую, напоминающую синусоиду. Окна расположены высоко в стенах. Верх волнистой стены армирован, низ стены на уровне земли совпадает с осью коноидальной поверхности. Все стены и крыша полностью

выполнены из кирпича, кладка армируется стальной проволокой диаметром около 3 мм (1/8 дюйма), где это необходимо по расчету. Кладка выполнялась на водостойком растворе. Стены вверху заканчиваются волнистой железобетонной балкой. Крыша состоит из двух слоев кирпича и заанкерована в балку на стене [17].

Бетонная стена в форме коноида применялась также на складе соли в Чехословакии [8], см. табл. 1.

Классический параболический коноид выбран для железобетонного покрытия Летнего театра в г. Szczecin, Польша, 1998. Модель покрытия в масштабе 1 : 100 была испытана в аэродинамической трубе на ветровую нагрузку в Техническом университете города Szczecin (рис. 13). Пролет реальной оболочки – 60,68 м, ее длина – 43,3 м, высота – 22,73 м, толщина – 8,5 см [18]. Уравнение срединной поверхности оболочки принято в виде:

$$z = 0,00091x(256 - y^2), z \geq -12,64 \text{ м.}$$

Иногда трудно найти коноид в форме существующего сооружения, как, например, в геометрических формах художественного музея Милуоки, США (рис. 14), архитектор С. Калатрава. Строительство музея закончено в 2001 году. Здесь два симметрично расположенных коноида имеют общую фиксированную прямую (прямая AB на рис. 1), а две кривых C (рис. 1) совпадают с левой и правой сторонами скульптурной композиции [19].

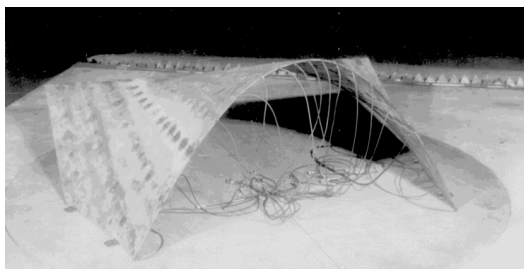


Рисунок 13 – Модель 1:100 летнего театра, Szczecin, Польша



Рисунок 14 – Художественный музей Милуоки, Lake Michigan, США

Коноидальная крыша выставочного центра в Валенсии, Испания, состоит из 20 модулей (рис. 15). Каждый модуль перекрывает 12 м × 9 м. Инновационное решение состоит в применении рифленого стального листа для покрытия одного модуля. Центр был построен в 2002-2004 годах, архитектор – Х. М. Т. Ллавадор (Jose Maria Tomas Llavador).

Идея архитекторов М. Бруера (Marcel Breuer), П. Нерви (Pier Luigi Nervi) и Б. Церфусса (Bernard Zehrfluss) применить комбинацию двух разных параболических коноидов и между ними цилиндрикоид (рис. 16) для устройства динамичного и грациозного консольного навеса перед входом в здание ЮНЕСКО (1953) в Париже затем неоднократно использовалась другими архитекторами.



Рисунок 15 – Коноидальная крыша выставочного центра в Валенсии, Испания



Рисунок 16 – Навес перед входом в одно из зданий ЮНЕСКО, Париж

Трудно перечислить все коноидальные сооружения, возведенные в разных странах. Некоторые из них очень похожи друг на друга, так как выполняют одни и те же функции. Например, приемный и складской корпус крытого рынка в Тулузе (Франция), построенный

по проекту инженера Прата. Рынок перекрыт конструкцией, состоящей из параболических железобетонных арочных ферм пролетом 20 м, со стрелой подъема 10 м и коноидных оболочек толщиной 70 мм, расстояние между арками - 7 м. Типичное шедовое покрытие. Или коноидальные оболочки над помещениями детских яслей в Пантене (Франция) напоминают форму синусоидальных коноидов.

Цилиндроид в архитектуре

Ф. Кандела в своих проектах использовал 9 типов поверхностей, в том числе, цилиндرويد (коноид). На рис. 17 показан его экспериментальный цилиндرويد, изготовленный в Мехико-Сити, Мексика, в 1950 году [20].



Рисунок 17 – Экспериментальный цилиндرويد



Рисунок 18 – Различные типы крыши из гофрированного металла в форме цилиндроидов, фирма Ishibashi, Tokugawa & Associates, Токио, Япония

Хорошо известная и престижная архитектурная фирма Ishibashi, Tokugawa & Associates создает в Японии выразительные сооружения. Расположенная в Токио команда из пяти архитекторов во главе с президентом фирмы Тошихико Ишибаши (Toshihiko Ishibashi) добилась признания в архитектурном мире и получила несколько призов за свою работу, в том числе, Awards for Merit for the “Chiba City Award for Excellence in Architecture” и “The AICA (Aica Kogyo Company, Limited) Jolypate Contest”. Эта фирма старается внести в японскую архитектуру элементы современных стилей. Ею предложены несколько типов легких крыш из гофрированного металла в форме цилиндроидов (рис. 18).



Рисунок 19 – The State Mosque of Negeri Sembilan, Малайзия

Серия пересекающихся цилиндроидов формирует мечеть, расположенную в 65 км к югу от столицы Малайзии. Проект мечети создали три молодых архитектора (Chen Voon Fee, Lim Chong Keat, and William Lim Siew Wai) из архитектурного бюро «Malayan Architects Co-Partnership», победившие в конкурсе среди дюжины других проектов. Жюри отметило, что проект выполнен в традиционном архитектурном стиле Малайзии, но в то же время он являлся инновационным проектом, как в конструкциях, так и в материале (рис. 19). Мечеть была торжественно открыта 24 ноября (пятница) 1967 года.

Цилиндроид применяется и в машиностроении [21, 22].

Некоторые сведения по расчету коноидальных оболочек на прочность, устойчивость и динамику

Как уже отмечалось научные работы, посвященные расчету коноидальных оболочек на прочность, устойчивость и динамику, приведены в обзоре [7]. Статья охватывает период до 1997 года. Теперь же рассмотрим период после 1997 года.

Из самых последних работ по статическому расчету укрепленных ребрами коноидальных оболочек отметим статьи [23-25], где рассмотрен расчет ребристой защемленной коноидальной оболочки с различным числом и различной ориентацией ребер. Восьмиузловой изопараметрический оболочечный конечный элемент был использован в работе [26] для изучения поведения композитной коноидальной оболочки с различными граничными условиями под действием равномерно распределенной поверхностной нагрузки, а в статье [27] описан статический расчет оболочки под действием сосредоточенной нагрузки. Есть исследование несущей способности поврежденной композитной коноидальной оболочки, проведенное МКЭ [28]. Приведенная библиография показывает, что наиболее интенсивные исследования коноидальных оболочек в настоящее время проводятся в Индии.

Другая серия работ посвящена свободным колебаниям коноидальных оболочек. Так статья [29] содержит полезную информацию о свободных колебаниях защемленной и свободно опертой оболочки с отсеченной осью коноида. Позже в 2005 году те же авторы с помощью МКЭ вычислили частоты свободных колебаний композитной оболочки с защемленными краями [30]. S.S. Nota и D. Chakravorty [31] изучали колебания коноидальных оболочек с отверстиями. Хотя можно привести для иллюстрации еще с десятков научных статей, посвященных колебаниям коноидальных тонких оболочек, но до сих пор некоторые практические задачи по свободным колебаниям ребристых оболочек еще не решены [31].

Заключение

В данный момент наблюдается некоторый спад в количестве проектируемых и возводимых сооружений – оболочек, несмотря на большое предложение со стороны архитекторов и математиков-геометров. В ряде случаев даже разбираются уже построенные оболочечные сооружения, чтобы освободить место для более доходных зданий. Но с появлением новых стройматериалов, новых программных комплексов, новых конструктивных решений должно произойти снижение строительных издержек, которое компенсирует удорожание земли под строительство.

Во всех университетах архитектурно-строительного направления обязательно рассказывается о линейчатых поверхностях отрицательной гауссовой кривизны – коноидах [32] и цилиндроидах [33], их возможностях в архитектуре. Это делается для того, чтобы показать молодежи как из довольно простой поверхности можно создавать архитектурные шедевры.

Установлено, что уже есть образцы применения полных и усеченных коноидных поверхностей в промышленных зданиях (шедовые покрытия), в храмовых сооружениях и в мечетях, в качестве стен складов и церкви, навесов перед входом, для перекрытия сцен летних театров, в скульптурных композициях и для украшения художественного музея и др. Их используют для крыш элитных коттеджей. Следовательно, можно заявить, что рассматриваемая линейчатая форма пользуется популярностью. И часто это получается неплохо, и с точки зрения архитектурной выразительности и с точки зрения заявленной функциональности.

Цель статьи – показать, на что способны коноидальные поверхности и цилиндроиды, как эта линейчатая поверхность в руках опытных архитекторов становится архитектурной достопримечательностью и знаковым сооружением города или архитектора.

Интенсивные экспериментальные и теоретические исследования коноидальных полых [34] и неполых оболочек, проводимые в последнее время в Индии и ряде других стран, показывают, что они востребованы и практикой, и наукой. Подавляющее число научных исследований и статей, опубликованных в 2000-2017 годах, посвящено изучению собственных колебаний коноидальных оболочек и динамическим задачам.

Желающие получить дополнительную информацию о шедовых покрытиях промышленных зданий, спортзала, построенных до 1960 года в разных странах могут воспользоваться материалами книги [35].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 752 p.
2. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future// Journal of Structural Engineering. – June 2002. – P. 691-701.
3. Ch.A. Bock Hyeng, Krivoshapko S. N. Umbrella-Type Surfaces in Architecture of Spatial Structures// IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). – 2013. –Vol. 3, Iss. 3. – PP. 43-53.
4. Кривошапко С.Н. К вопросу о применении параболических оболочек вращения в строительстве в 2000-2017 годах// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 4. – С. 4-14.
5. Krivoshapko S.N. Static, vibration, and buckling analyses and applications to one-sheet hyperboloidal shells of revolution// Applied Mechanics Reviews (USA). –Vol.55. – No 3. – May 2002. – С.241-270.
6. Гринько Е.А. Обзорные работы по геометрии, прочности, устойчивости, динамике и применению оболочек со срединными поверхностями различных классов//Монтажные и специальные работы в строительстве. - 2012. -№ 2. -С. 15-21.
7. Кривошапко С.Н. Коноидальные оболочки // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1998. – № 6. – С. 22-24.
8. Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий: Монография. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 328 с.
9. Ljubica S. Velimirović, Mića S. Stanković, Grozdana Radivojević. Modeling conoid surfaces// Facta Universitatis: Architecture and Civil Engineering. – 2002. – Vol. 2, No 4. – P. 261-266.
10. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells// Applied Mechanics Reviews (USA). – Vol.52. – No 5. – May 1999. – P. 161-175.
11. Doležal J. The story of a right wavelet conoid// WDS' 11 Proceedings of Contributed Papers, Part 1. – 2011. – P. 72-77.
12. Drăgan Delia; Bărbîntă Dorin; Pondichi-Alb Claudia. Study on the representation in projection with elevations of conoid type surfaces// Advanced Engineering Forum. – 2017. – Vol. 21. – Pp. 118-425.
13. Davis R.F. On the cylindroid// The Mathematical Gazette. – Jul., 1990. – Vol. 1. – No 22. – P. 370-371.
14. Хаустова Н.Д. О свертывании разверток, построенных по способу триангуляции, в многогранные поверхности, аппроксимирующие цилиндриды// Доклады VIII научно-техн. конф. инж. ф-та. – М.: УДН им. П. Лумумбы, 1972. – С. 11-13.
15. Chudley Roy and Greeno, Roger. Advanced Construction Technology: Fourth edition. – Prentice Hall, 2006. – 633 p.
16. Меньшиков Н.Г. К вопросу изыскания оптимальных форм большепролетных железобетонных конструкций покрытий// Труды МИСИ. – М.: изд. МИСИ, 1954. – С. 105- 114.
17. Eladio Dieste. Church at Atlantidal Uruguay// Architectural Review. – 1961. - September. – Pp. 173-175.
18. Paczkowski W., Drozdowicz R., Mielczarek M. Badania modelowe powloki walcowej w tunelu aerodynamicznym// Inzynieria i Budownictwo. – Nr 5/96. – Pp.307-309
19. Krasic Sonja. Geometrijske Površi u Arhitekturi. – Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, 2012. – 238 p.
20. Law Marilyn. Mimic a Master Builder: A Tribute to Felix Candela// Autodesk User Group International (AUGI). – 2012. – July 18 (Электронный ресурс)
21. Perez A., McCarthy J.M. Bennett's linkage and the cylindroid// Mechanism and Machine Theory. – April 2002. – P.1-19.
22. Brandner G. Rauemliche Verzahnungen// Maschinenbautechnik. – Berlin, 1983, № 8. – S.369-372.
23. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Dynamic response analysis of stiffened conoidal shells// Journal of Sound and Vibration. – 291(3-5). – Pp. 1288-1297.
24. Kumari S. and Chakravorty D. Study of static characteristics of delaminated composite conoidal shell subjected to point load// Journal of advanced materials research. – 2010. – 123–125. – Pp. 455–458.
25. Das S.H. and Chakravorty D. Bending analysis of stiffened composite conoidal shell roofs through finite element application // Journal of composite materials. – 2011. – 45(5). – Pp 525-542.
26. Kumari S. and Chakravorty D. Bending of delaminated composite conoidal shells under uniformly distributed load// Journal of Engineering Mechanics (ASCE). – 2011. – 137(10). – Pp. 660-668.
27. Pradhan Nibedita and Jena Joygopal. Static characteristics of stiffened conoidal shell roofs under concentrated load// International Journal of Advances in Engineering & Technology. – 2012. – 4(2). – Pp. 195-205.
28. Kumari S. and Chakravorty D. On the bending characteristics of damaged composite conoidal shells - a finite element approach// Journal of Reinforced Plastics and Composite. – 2010. – 29(21). – Pp. 3287– 3296.
29. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Free vibration and design aids of stiffened conoidal shells// Journal of Engineering Mechanics. – 2002. – 128 (4). – P. 419-427.
30. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Free vibration analysis of laminated stiffened shells// Journal of Engineering Mechanics. – 2005. – 131(1). – P. 100-105.

31. Hota S.S. and Chakravorty D. Free vibration of stiffened conoidal shell roofs with cutouts// Journal of Vibration and Control. – 2007. – 13(3). – Pp. 221-240.
32. Gorjanc Sonja. Some examples of using Mathematica in teaching geometry// Proc. of the 10th International Conference on Geometry and Graphics. – Vol. 2. – July 28 – August 2, 2002, Kyiv, Ukraine. – Pp. 89-93.
33. Tocariu Liliana. Stages in the study of cylindroid surfaces// The SORGING Journal. – 2007. – Vol. 2. – Iss. 1. – Pp. 37-40.
34. Stavridis L.T. Dynamic analysis of shallow shells on rectangular base// J. Sound and Vibr. – 1998. – 218(5). – Pp. 861-882.
35. Рюле Г. Пространственные покрытия. – М.: Стройиздат, 1973. – Том 1. – 304 с.

Кривошапко Сергей Николаевич

Российский университет дружбы народов, Москва

д.т.н., профессор, профессор Департамента Архитектуры и Строительства, Инженерная Академия

E-mail: sn.krivoshapko@mail.ru

S.N. KRIVOSHAPKO

THE APPLICATION OF CONOID AND CYLINDROID IN FORMING OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF SHELL TYPE

Among tens of known ruled surfaces, which can be taken as middle surfaces of the shells, ruled surfaces of zero Gaussian curvature such as conic, cylindrical, and torse surfaces and also ruled surfaces of negative Gaussian curvature such as one-sheet hyperboloids, hypars, conoids find wide application. Circle and parabolic cylindrical and conic surfaces, hypars and one-sheet hyperboloid of revolution have the widest spread in modern design and building due to well-studied geometry of their form, existence of the methods of strength, buckling, and dynamic analyses, and due to their claiming for practical needs. But theoretical investigations of conoid shells, researches of their opportunities were not stopped. Some new information on strength analysis of right conoid shells, on the determination of their natural frequencies, examples of application of conoid shells for the shed roofs of industrial building, for the roofs of private villas and public buildings, summer theaters and museums, the application of them in modern sculptural complexes are presented in this review. It is shown that designing and building of conoidal shells is continued in 2000-2017 but on the lesser scales.

All main presented references are dated the XXIst century.

Key words: ruled surface, conoid, cylindroid, conoidal shell, static strength analysis, natural frequencies.

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing Switzerland, 2015, 752 p.
2. Bradshaw, R., Campbell, D., Gargari, M., Mirmiran, A., and Tripeny, P. Special structures. Past, present, and future. Journal of Structural Engineering, June 2002, 691-701.
3. Ch.A. Bock Hyeng, Krivoshapko S. N. Umbrella-Type Surfaces in Architecture of Spatial Structures. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), 2013, Vol. 3, Iss. 3, 43-53.
4. Krivoshapko S.N. On application of parabolic shells of revolution in building in 2000-2017. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 2017, (4), 4-14 (in Russian).
5. Krivoshapko S.N. Static, vibration, and buckling analyses and applications to one-sheet hyperboloidal shells of revolution. Applied Mechanics Reviews (USA), 55(3), May 2002, 241-270.
6. Grin'ko E.A. Review work on geometry, strength, stability, dynamic, and application of shells with the middle surfaces of different classes. Montazh. i Spetz. Raboty v Stroitel'stve, 2012, (2), 15-21 (in Russian).
7. Krivoshapko S.N. Conoidal shells. Montazh. i Spetz. Raboty v Stroitel'stve, 1998, (6), 22-24 (in Russian).
8. Krivoshapko S.N., Mamieva I.A. Analytical Surfaces in Architecture of Buildings, Structures, and Details: Monograph. Moscow: Kn. Dom "LIBROKOM", 2012, 328 p. (in Russian).
9. Ljubica S. Velimirović, Mića S. Stanković, Grozdana Radivojević. Modeling conoid surfaces. Facta Universitatis: Architecture and Civil Engineering, 2002, 2(4), 261-266.
10. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells. Applied Mechanics Reviews (USA), May 1999, 52(5), 161-175.
11. Doležal J. The story of a right wavelet conoid. WDS' 11 Proceedings of Contributed Papers, Part 1, 2011, 72-77.

12. Drăgan Delia; Bărbîntă Dorin; Pondichi-Alb Claudia. Study on the representation in projection with elevations of conoid type surfaces. *Advanced Engineering Forum*, 2017, Vol. 21, 118-425.
13. Davis R.F. On the cylindroid. *The Mathematical Gazette*, Jul., 1990, 1(22), 370-371.
14. Haustova N.D. On rolling of developments, made by a method of triangulation, into the polyhedral surfaces approximating cylindroids. *Doklady VIII Nauchno-Tehn. Konf. Inzh. f-ta*, Moscow: UDN im. P. Lumumby, 1972, 11-13 (in Russian).
15. Chudley Roy and Greeno, Roger. *Advanced Construction Technology: Fourth edition*. Prentice Hall, 2006, 633 p.
16. Men'shikov N.G. On optimal forms of large-span reinforced concrete structures. *Trudy MISI*, Moscow: izd. MISI, 1954, 105-114 (in Russian).
17. Eladio Dieste. Church at Atlantidal Uruguay. *Architectural Review*, 1961, September, 173-175.
18. Paczkowski W., Drozdowicz R., Mielczarek M. Badania modelowe powloki walcowej w tunelu aerodynamicznym. *Inzynieria i Budownictwo*, Nr 5/96, 307-309
19. Krasic Sonja. Geometrijske Površni u Arhitekturi. *Gradevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu*, 2012, 238 p.
20. Law Marilyn. Mimic a Master Builder: A Tribute to Felix Candela. *Autodesk User Group International (AUGI)*, 2012, July 18 (Electr. resurce).
21. Perez A., McCarthy J.M. Bennett's linkage and the cylindroid. *Mechanism and Machine Theory*, April 2002, 1-19.
22. Brandner G. Rauemliche Verzahnungen. *Maschinenbautechnik*, Berlin, 1983, № 8, 369-372.
23. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Dynamic response analysis of stiffened conoidal shells. *Journal of Sound and Vibration*, 291(3-5), 1288-1297.
24. Kumari S. and Chakravorty D. Study of static characteristics of delaminated composite conoidal shell subjected to point load. *Journal of Advanced Materials Research*, 2010, (123-125), 455-458.
25. Das S.H. and Chakravorty D. Bending analysis of stiffened composite conoidal shell roofs through finite element application. *Journal of Composite Materials*, 2011, 45(5), 525-542.
26. Kumari S. and Chakravorty D. Bending of delaminated composite conoidal shells under uniformly distributed load. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, 2011, 137(10), 660-668.
27. Pradhan Nibedita and Jena Joygopal. Static characteristics of stiffened conoidal shell roofs under concentrated load. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2012, 4(2), 195-205.
28. Kumari S. and Chakravorty D. On the bending characteristics of damaged composite conoidal shells - a finite element approach. *Journal of Reinforced Plastics and Composite*, 2010, 29(21), 3287- 3296.
29. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Free vibration and design aids of stiffened conoidal shells. *Journal of Engineering Mechanics*, 2002, 128 (4), 419-427.
30. Nayak A.N. and Bandyopadhyay J.N. Free vibration analysis of laminated stiffened shells. *Journal of Engineering Mechanics*, 2005, 131(1), 100-105.
31. Hota S.S. and Chakravorty D. Free vibration of stiffened conoidal shell roofs with cutouts. *Journal of Vibration and Control*, 2007, 13(3), 221-240.
32. Gorjanc Sonja. Some examples of using Mathematica in teaching geometry. *Proc. of the 10th International Conference on Geometry and Graphics*, Vol. 2, July 28 – August 2, 2002, Kyiv, Ukraine, 89-93.
33. Tocariu Liliana. Stages in the study of cylindroid surfaces. *The SORGING Journal*, 2007, 2(1), 37-40.
34. Stavridis L.T. Dynamic analysis of shallow shells on rectangular base. *J. Sound and Vibration*, 1998, 218(5), 861-882.
35. Rühle H., Kühn E., Weißbach K., Zeidler D. *Räumliche Dachtragwerke. Konstruktion und Ausführung*. Band 1, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1969, 300 p.

S. N. Krivoshapko

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow

Doctor of Technical Science, Prof., Prof. of the Architecture and Building Department, Engineering Academy

E-mail: sn.krivoshapko@mail.ru

УДК 693.22

ОРЛОВИЧ Р.Б., ЧАКАЛИДИ В.Х., БЕСПАЛОВ В.В.

УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ И СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ КАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТКАМИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье анализируется эффективность методов усиления центрально-сжатых и сжато-изгибаемых каменных элементов. Приводятся, как традиционные, так и новые методы усиления с применением композитных сеток (ФАП) из стекловолокон и углеволокон. Анализируются результаты экспериментальных исследований армированных и неармированных каменных образцов при воздействии сжимающих сил и обсуждаются механизмы их разрушения. Также рассматриваются результаты численных исследований армированных каменных элементов при воздействии внецентренно приложенных сжимающих сил. Используется система усиления композитными материалами Fibre Reinforced Polymers (FRP), в рамках которой, в виде адгезива, используются эпоксидные клеи. Проводится анализ распределения главных сжимающих напряжений действующих в армированных сетками образцах различного сечения (квадратного, прямоугольного и круглого) и определяются зоны концентрации этих напряжений.

Ключевые слова: каменные элементы, усиление, композитные материалы (ФАП).

Усиление сжатых каменных элементов (колонн, простенков) обычно вызвано их аварийным состоянием либо необходимостью увеличения несущей способности, например, вследствие модернизации здания. Традиционно усиление таких конструкций достигается с помощью стальных либо железобетонных обойм, роль которых заключается в уменьшении поперечных деформации сечения, в результате чего каменная кладка начинает работать в условиях трехосного сжатия. В последнее время в зарубежной практике все чаще применяется усиление внешним армированием из композитных материалов [1-8]. Упругие характеристики таких материалов близки к характеристикам стали, а прочность в разы превышает прочность стали. В отечественной практике усиление композитными материалами нашло отражение в разработанном нормативном документе применительно к железобетонным конструкциям [9]. Что же касается каменных конструкций, то для практического использования при их усилении композитных материалов пока отсутствует достаточное количество экспериментальных и теоретических исследований.

В авторской работе [10] приводятся результаты экспериментальных исследований центрально-сжатых каменных столбов сечением $b \times h = 25 \times 38$ см и высотой $H = 81$ см. Первая контрольная серия образцов испытывалась без усиления. Вторая серия образцов была усилена металлической обоймой, состоящей из четырех уголков $L60 \times 60 \times 5$ соединенных между собой поперечными планками. Третья серия образцов была усилена по всей высоте металлическими сетками $\varnothing 4 \times 55 \times 55$ мм с нанесением штукатурного слоя из цементно-песчаного раствора 1:3. Прочность сеток на разрыв составляла 464 МПа. Четвертая серия образцов усиливалась сетками из стекловолокон S&P G-Sheet E 90/10 A, закрепляемых на всей боковой поверхности образцов с нахлестом эпоксидным клеем Epidian. Декларированная производителем прочность на разрыв сеток составляла 374 кН на 1 погонный метр (при предельных деформациях 4,5%), а модуль упругости $E = 73$ ГПа. Во избежание перелома сеток на углах образцов последние были закруглены до радиуса $r = 25$ мм. Пятая серия образцов усиливалась приклеенными эпоксидным клеем Epidian полосами сеток из углеволокон S&P C-Sheet 240 шириной 15 см (рис. 1г). Их декларированная прочность на разрыв составляла 1191 кН на 1 погонный метр (при деформациях 1,55%), а модуль упругости $E = 240$ ГПа. В процессе загрузки образцов вплоть до разрушения измерялись их продольные и поперечные деформации, а также регистрировался процесс трещинообразования.

Разрушение не усиленных образцов происходило в результате образования вертикальных микротрещин, которые, вследствие слияния, привели к разделению образца на несколько независимых столбов. В образцах усиленных стальными обоймами при нагрузке, составляющей около 65% от разрушающей, наблюдалось развитие наклонных и вертикальных трещин. Полное разрушение происходило в результате разрыва стальных поперечных планок, при этом каменная кладка оказалась полностью раздробленной. В образцах усиленных оштукатуренными стальными сетками при нагрузке, составляющей около 70% от разрушающей, наблюдались вертикальные трещины преимущественно в угловых зонах. Полное разрушение происходило в результате разрыва арматурной стальной сетки в одной из угловых зон и полного раздробления каменной кладки. В случае усиления сетками из стекловолокон разрушение происходило внезапно в результате разрыва сеток в угловых зонах образцов и раздробления каменной кладки. Образцы пятой серии, усиленные на части высоты сетками из углеволокон, разрушались преимущественно в результате исчерпания прочности кладки на неармированных участках.

Таблица 1 – Эффективность усиления опытных каменных столбов

Серия	Способ усиления	Начало разрушения P_n [кН]	Разрушающее усилие P_p [кН]	Степень усиления P_p/P_p^*
1	без усиления	310	550*	-
2	стальная обойма из уголков L 60x60x5	1100	1700	3,1
3	штукатурка, армированная металлическими сетками Ø 4x55x55	960	1370	2,5
4	сетки из стекловолокон по всей высоте образцов	1600	1600	2,9
5	сетки из углеволокон на части высоты образцов	850	900	1,6

Основные результаты испытаний представлены в таблице 1, из которой следует, что эффект усиления образцов стальной обоймой, стальными сетками и сетками из стекловолокон примерно сопоставим. Исключение составляют образцы, армированные сетками из углеволокон на части высоты. Следует отметить, что при одинаковом уровне нагружения усиленных образцов их продольные деформации были в 3-6 раза меньше чем не усиленных образцов. В то же время редукция поперечных деформаций была более значительной, например, в образцах усиленных сетками из стекловолокон в 20-30 раз меньше по сравнению с неусиленными. Последнее свидетельствует о работе кладки усиленных образцов в условиях трехосного сжатия (рис. 1а). Из выполненного авторами численного анализа напряженно-деформированного состояния усиленных сетками образцов следует, что их поперечные деформации распределяются по сечению неравномерно (рис. 1б). Наименьшие деформации наблюдаются в диагональных направлениях сечения, а наибольшие – в поперечных. Соответственно наибольшие сжимающие напряжения σ_1 и σ_2 концентрируются в угловых зонах и в средней части сечения, а наименьшие – вблизи их боковых поверхностей (рис. 1в).

Анализ распределения главных сжимающих напряжений σ_2 и σ_3 действующих в армированных сетками образцах различного сечения (квадратного, прямоугольного и круглого) показал, что наиболее равномерно указанные напряжения распределяются в круглых сечениях, а наименее равномерно в прямоугольных сечениях особенно при возрастании соотношения h/b . Из этого следует, что наибольший эффект поверхностного армирования композитными сетками следует ожидать для колонн круглого сечения, а наименьший для сжатых элементов прямоугольных сечений, например для широких простенков.

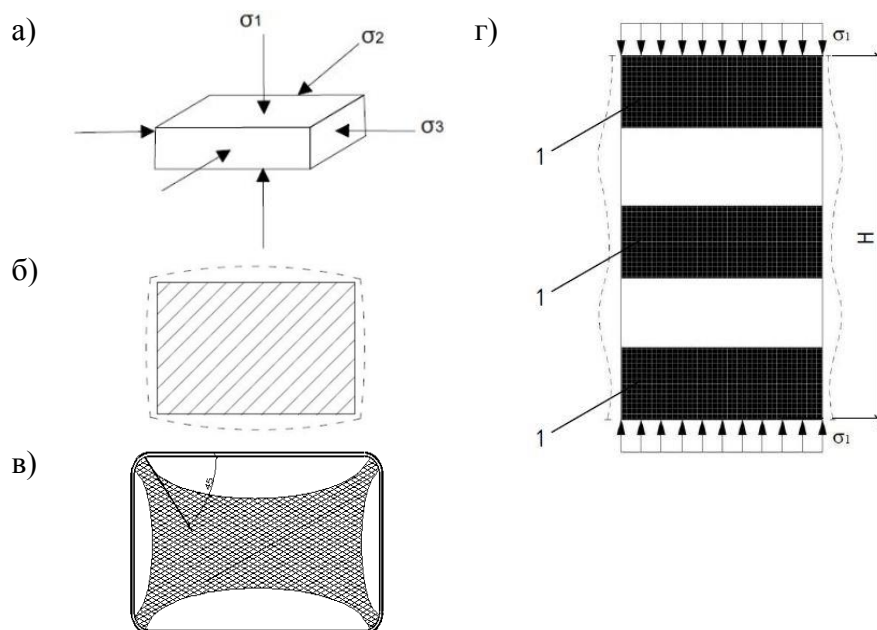


Рисунок 1 – Напряженно-деформированное состояние образцов, усиленных сетками из композитных материалов: а – трехосное сжатие, б – поперечные деформации, в – распределение главных сжимающих напряжений σ_2 и σ_3 в поперечном сечении, г – поперечные деформации (штриховые линии) при армировании полосами 1 из композитных сеток на части высоты H образцов

На основании выполненных авторами численных исследований установлено, что более существенный эффект поверхностного армирования можно ожидать в сжато-изгибаемых каменных элементах. В их сжатой зоне (рис. 2) каменная кладка из-за стеснения поперечных деформаций работает в условиях трехосного сжатия, что благоприятно сказывается на ее прочности [11]. При этом армирующая композитная сетка из-за ее высокой гибкости выключается из работы на сжатие в направлении действующего сжимающего усилия P (прерывистые линии 1 на рис. 2). В растянутой же зоне армирующая сетка работает на растяжение в направлении действия усилия P , компенсируя тем самым низкое сопротивление кладки растяжению поперек растворных швов (сплошные линии 2 на рис. 2).

В рассматриваемом случае армирующие композитные сетки, работающие на растяжение в двух направлениях, используется наиболее рационально. При этом сетки должны обладать соответствующей прочностью в ортогональных направлениях. В плоскости сечения при его поперечном деформировании в зоне действия сжимающих напряжений σ_1 прочность сетки должна быть не меньше возникающих в ней растягивающих усилий, действующих в направ-

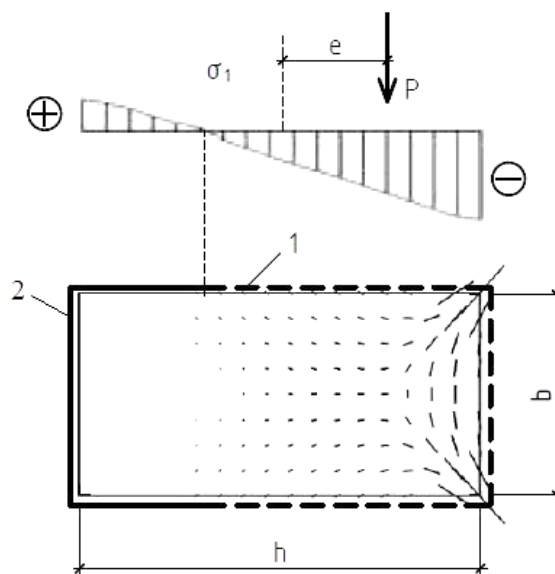


Рисунок 2 – Эпюра сжимающих напряжений σ_1 и траектории главных сжимающих напряжений в поперечном сечении внецентренно сжатой армированной каменной колонны с соотношением $h/b = 2$ при эксцентриситете сжимающей силы $e = 0,38 h$ (усилия в арматуре условно не показаны)

лениях главных сжимающих напряжений σ_2 и σ_3 . В ортогональном же направлении, параллельном направлению действия силы P , прочность сетки на растяжение не должна превышать возникающих в ней от внецентренного сжатия максимальных растягивающих усилий на участке 2 (рис. 2).

Результаты приведенных исследований показывают эффективность применения сеток из композитных материалов при усилении центрально-сжатых и сжато-изгибаемых каменных элементов. При этом вопросы оптимизации степени армирования в зависимости от материала сеток и геометрических параметров сжатых и сжато-изгибаемых каменных элементов являются предметом дальнейших исследований авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Masia MJ, Shrive NG. Carbon fibre reinforced polymer wrapping for the rehabilitation of masonry columns. – Can J Civil Eng. – 2003. – №30. – 734–44.
2. Shaheen E., Shrive N. G. Strengthening of masonry columns with sprayed glass fibre reinforced polymer (SGFRP) // 10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta. – 2005. – pp. 837-846.
3. Corradi M., Grazini A., Borri A. Confinement of brick masonry columns with CFRP materials // Composites science and technology. – 2007. – No. 67. – pp. 1772-1783.
4. Quagliarini E., Monni F., Greco F., Lenci S. Flexible repointing of historical facing-masonry column-type specimens with basalt fibers: A first insight // Journal of Cultural Heritage. – 2017. – No. 24. – pp. 165-170.
5. Fossetti M., Minafò G. Comparative experimental analysis on the compressive behaviour of masonry columns strengthened by FRP, BFRCC or steel wires // Composites Part B: Engineering. – 2017. – No. 112. – pp. 112-124.
6. Witzany J., Cejka T., Zigler R. Failure mechanism of compressed short brick masonry columns confined with FRP strips // Construction and Building Materials. – 2014. – No. 63. – pp. 180-188.
7. Faella C., Martinelli E., Paciello S., Camorani G., Aiello M. A., Micelli F., Nigro E. Masonry columns confined by composite materials: Experimental investigation // Composites Part B: Engineering. – 2011. – No. 42. – pp. 692-704.
8. Micelli F., Di Ludovico M., Balsamo A., Manfredi G. Mechanical behaviour of FRP-confined masonry by testing of full-scale columns // Materials and Structures. – 2014. – No. 47. – pp. 2081-2100.
9. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
10. Orłowicz R. Naprawy i wzmacnianie murów kompozytami włóknistymi // Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych: Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej „REW-INŻ.2004” [Krakow, 2004]. – s. 197-204.
11. Деркач, В.Н. Эмпирические критерии прочности каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния [Текст] / В.Н. Деркач, Р.Б. Орлович // Строительство и реконструкция. – 2010. – №6 (32).

Орлович Роман Болеславович

Западно-Померанский технологический университет, г. Щецин, Республика Польша
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общего строительства»
E-mail: orlowicz@mail.ru

Чакалиди Валерий Христофорович

Строительная компания "Инвест Проект", г. Санкт-Петербург
Инженер
E-mail: tsakalidis88@yahoo.com

Беспалов Владимир Владимирович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
Студент
E-mail: chanchullero@yandex.ru

R.B. ORLOVICH, V.Ch. CHAKALIDI, V.V. BESPALOV

STRENGTHENING OF MASONRY ELEMENTS WITH COMPOSITE MESH UNDER COMPRESSION AND COMPRESSION COMBINED WITH BENDING

The paper analyzes the effectiveness of strengthening techniques for masonry elements under central compression and compression combined with bending. Traditional and new strengthening techniques using composite carbon and fiberglass mesh (FRP) are given. The results of experimental investigations of reinforced and unreinforced masonry specimens under compressive loads are analyzed and their failure mechanisms are discussed. Furthermore, it discusses results of numerical analysis of reinforced masonry elements under eccentrically applied compressive loads. The fibre-reinforced polymer strengthening system is used, within which, epoxy adhesive is applied. The distribution of main compressive stresses in reinforced specimens with different sections (square, rectangular and circular) are analyzed and these stress concentration zones are determined.

Keywords: masonry elements, strengthening, composite mesh (FRP).

REFERENCES

1. Masia MJ, Shrive NG. Carbon fibre reinforced polymer wrapping for the rehabilitation of masonry columns. – Can J Civil Eng. – 2003. – №30. – 734–44.
2. Shaheen E., Shrive N. G. Strengthening of masonry columns with sprayed glass fibre reinforced polymer (SGFRP) // 10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta. – 2005. – pp. 837-846.
3. Corradi M., Grazini A., Borri A. Confinement of brick masonry columns with CFRP materials // Composites science and technology. – 2007. – No. 67. – pp. 1772-1783.
4. Quagliarini E., Monni F., Greco F., Lenci S. Flexible repointing of historical facing-masonry column-type specimens with basalt fibers: A first insight // Journal of Cultural Heritage. – 2017. – No. 24. – pp. 165-170.
5. Fossetti M., Minafò G. Comparative experimental analysis on the compressive behaviour of masonry columns strengthened by FRP, BFRCM or steel wires // Composites Part B: Engineering. – 2017. – No. 112. – pp. 112-124.
6. Witzany J., Cejka T., Zigler R. Failure mechanism of compressed short brick masonry columns confined with FRP strips // Construction and Building Materials. – 2014. – No. 63. – pp. 180-188.
7. Faella C., Martinelli E., Paciello S., Camorani G., Aiello M. A., Micelli F., Nigro E. Masonry columns confined by composite materials: Experimental investigation // Composites Part B: Engineering. – 2011. – No. 42. – pp. 692-704.
8. Micelli F., Di Ludovico M., Balsamo A., Manfredi G. Mechanical behaviour of FRP-confined masonry by testing of full-scale columns // Materials and Structures. – 2014. – No. 47. – pp. 2081-2100.
9. SP 164.1325800.2014 Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitnymi materialami. Pravila proyektirovaniya.
10. Orłowicz R. Naprawy i wzmacnianie murów kompozytami włóknistymi // Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych: Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej „REW-INŻ.2004” [Krakow, 2004]. – s. 197-204.
11. Derkach, V.N. Empiricheskiye kriterii prochnosti kamennoy kladki v usloviyakh slozhnogo napryazhen-nogo sostoyaniya [Tekst] / V.N. Derkach, R.B. Orlovich // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2010. – №6 (32).

R.B. Orlovich

West Pomeranian technological university, Szczecin, Republic Poland
Doctor of technical science, professor, head of the department «General construction»
E-mail: orlowicz@mail.ru

V.Ch. Chakalidi

Construction company "Invest Project ", Saint Petersburg
Engineer
E-mail: tsakalidis88@yahoo.com

V.V. Beshpalov

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg
Student
E-mail: chanchullero@yandex.ru

УДК 624.04

РОЩИНА С.И., РЯЗАНОВ М.А., ШИШОВ И.И., РЕПИН В.А.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ В СОСТАВЕ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований покрытия промышленного здания, в котором ребристые плиты в местах их опирания жестко соединяются между собой и с ригелем сваркой выпусков арматуры и монолитным бетоном. Оценивается совместность работы конструкций и влияние такого соединения на работу ригелей и ребристых плит. Вертикальные перемещения плит определялись по линиям продольных ребер. Теоретическое определение производилось в программном комплексе LIRA и по программе, разработанной в ВлГУ. В первом случае решение получалось шагово-итерационным методом с использованием экспоненциального закона деформирования бетона и двухлинейной диаграммы состояния арматуры; во втором – использовался метод упругих решений с применением в каждой итерации метода конечных разностей, причем для сжатого бетона принималась рекомендованная нормами трехлинейная диаграмма деформирования, а для арматуры – двухлинейная. Приводится сравнение и анализ полученных результатов.

Ключевые слова: сборно-монолитное покрытие; прогибы; экспериментальные исследования; численные исследования; нелинейность деформирования; программа ВлГУ; жесткость.

Нормы [1] предписывают выполнять расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям первой и второй групп по напряжениям, усилиям, деформациям и перемещениям, определенным с учетом физической нелинейности (неупругих деформаций бетона и арматуры) и возможного образования трещин. Предлагается две диаграммы состояния сжатого бетона и две – растянутой арматуры. Для расчетов по предельным состояниям второй группы рекомендуется трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона [2].

Нелинейность деформирования составляющих железобетона приводит к тому, что жесткость элементов конструкций оказывается переменной и по длине, и в зависимости от уровня напряженного состояния; деформации и перемещения возрастают прогрессирующе. Связанные с этим затруднения в исследовании деформирования заставляют быстро развиваться строительную механику железобетонных конструкций. Проблеме посвящены многие монографии, например [3 – 6], и научные статьи [7], [8].

В работах [9 – 13] приводятся новые конструктивные решения покрытия промышленного здания. Ребристые плиты в местах опирания их на ригели жестко соединяются между собой и с ригелем монолитным бетоном, работают как неразрезные балки и частично вовлекаются в работу ригеля. Работа такой конструкции исследовалась экспериментально в лаборатории Владимирского государственного университета (рис.1). Исследовалась жесткость соединения плит и степень их вовлеченности в работу стропильной конструкции. Кроме того, определялись вертикальные перемещения плит по линиям продольных ребер. Подробное описание проведенных экспериментальных исследований приведено в [14]. Теоретически перемещения определялись двумя методами – по программному комплексу ЛИРА и по описанной ниже программе, разработанной на кафедре строительных конструкций ВлГУ.



Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной модели сборно-монолитного покрытия

Определение прогибов по программе ВлГУ. В направлении, перпендикулярном ригелю, выделяется часть модели шириной в одну плиту. Принимается, что она имеет шарнирное опирание в точках фактического приложения сил от домкрата, а снизу через закладные детали по концам стенок ригеля на нее действуют силы, направленные вверх. По длине эта часть модели (мы будем называть ее балкой) имеет несколько участков с разными расчетными поперечными сечениями (рис. 2).

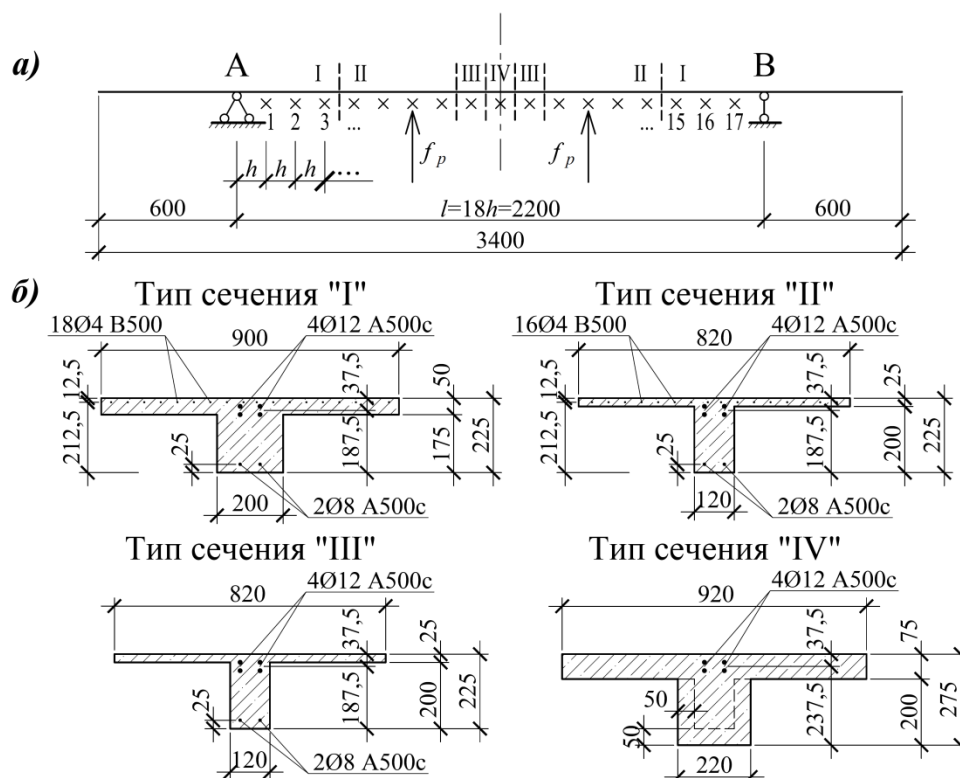


Рисунок 2 – Конечно-разностная модель балки (а) и её расчетные поперечные сечения (б)

Прогибы определяются с учетом нелинейного деформирования бетона и арматуры на основе следующих предпосылок:

- для бетона сжатой зоны принимается рекомендованная СП [1] трехлинейная диаграмма состояния $\sigma_b = \sigma_b(\varepsilon_b)$ с переломами в точках с координатами $\{\varepsilon_{b1}; 0,6R_b\}$, $\{\varepsilon_{b0}; R_b\}$ и предельным значением $\varepsilon_b = \varepsilon_{b2}$, где $\varepsilon_{b1} = \frac{0,6R_b}{E_b}$, $\varepsilon_{b0} = 0,002$, $\varepsilon_{b2} = 0,0035$, R_b – нормативное сопротивление бетона на сжатие, E_b – начальный модуль упругости бетона;
- работа бетона растянутой зоны учитывается с помощью коэффициента $\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M}$, повышающего жесткость растянутой арматуры сечением A_s до величины $\frac{E_s A_s}{\psi_s}$, где E_s – модуль упругости арматуры, M_{crc} – момент образования нормальных трещин в бетоне растянутой зоны, M – момент, возникающий от нагрузки.

Момент M_{crc} определяется с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны в соответствии с п. 8.2.10 СП [1] на основе следующих предпосылок:

- поперечные сечения при деформировании балки остаются плоскими;
- в сжатой зоне бетон работает упруго с начальным модулем упругости E_b ;
- в растянутой зоне напряжения в бетоне возрастают упруго до величины $R_{bt,ser}$, при дальнейшем деформировании остаются постоянными;
- арматура работает упруго;
- деформация крайнего волокна растянутой зоны достигает величины $\varepsilon_{bt,ult} = 0,00015$.

Упругая работа балки продолжается, пока напряжения наиболее удаленного волокна растянутой зоны не достигнут величины $R_{bt,ser}$. Для такого состояния определяется изгибающий момент $M_{упр.}$, деформация наиболее напряженного волокна сжатой зоны ε_b , кривизна изогнутой оси K и жесткость балки g . Определяются значения тех же величин при $M = M_{crc}$ и принимается, что на участке от $M_{упр.}$ до M_{crc} они изменяются по линейному закону. Если деформация ε_{b1} больше величины ε_b , соответствующей моменту M_{crc} , то на участке $M_{crc} - M(\varepsilon_{b1})$ также принимается линейное изменение величин.

Оставшийся диапазон деформаций ε_b до ε_{b2} разделяется на малые участки $\Delta\varepsilon_b = 0,00001$ и создается таблица величин M , ε_b , K , g , σ_s , σ_s' , соответствующих каждому значению ε_b (σ_s , σ_s' – напряжения в арматуре растянутой и сжатой зон). При этом различаются две стадии деформирования: при $\varepsilon_b \leq \varepsilon_{b0}$ и при $\varepsilon_b > \varepsilon_{b0}$. Эпюры деформаций и напряжений в бетоне в пределах высоты сжатой зоны x для этих двух стадий показаны на рис. 3.

Здесь $x_1 = \frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_b} x$ – высота упругой зоны; $x' = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_b} x$ – высота упругопластической зоны для первой стадии; $0,6R_b + \sigma_b'$ – максимальное напряжение для первой стадии; $\sigma_b' = 0,4R_b \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}}$; $x' = \frac{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_b} x$ – высота упругопластической зоны для второй стадии;

$x'' = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b0}}{\varepsilon_b} x$ – высота пластической зоны; R_b – максимальное напряжение в бетоне сжатой зоны.

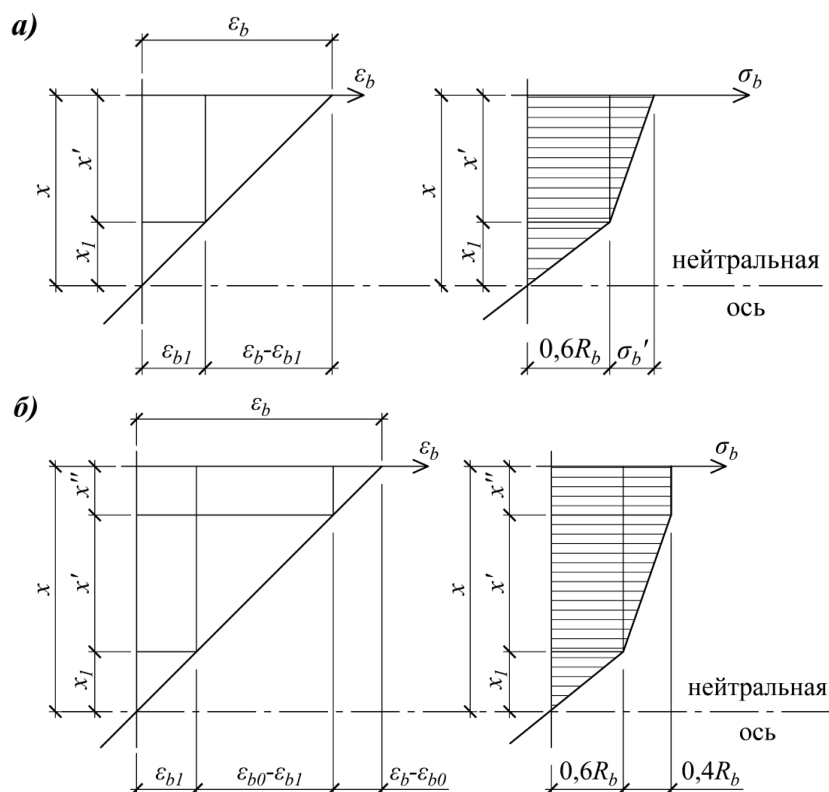


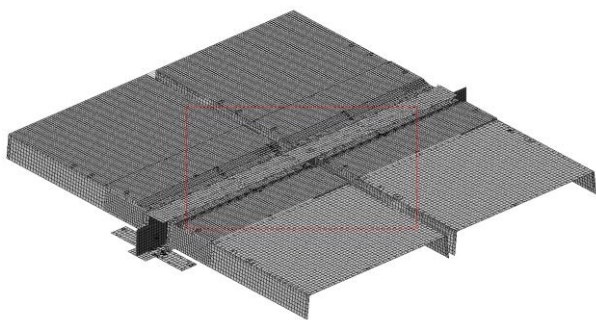
Рисунок 3 – Эпюры деформаций и напряжений в бетоне сжатой зоны при $\varepsilon_b \leq \varepsilon_{b0}$ (а) и при $\varepsilon_b > \varepsilon_{b0}$ (б)

Из уравнений равновесия определяются величины x , x_1 , x' , x'' , значения изгибающего момента, кривизны и жесткости балки. Подробно это описано в работе [15].

Поскольку рассматриваемая часть модели (балка) имеет четыре участка с разными поперечными сечениями, создается четыре таблицы величин M , ε_b , K , g , σ_s , σ_s' – для каждого участка своя.

Прогибы определяются методом упругих решений, причем в каждом приближении для расчета балки переменной жесткости используется метод конечных разностей с разбиением балки на 18 частей длиной 0,124 м. В первом приближении задаются жесткости, соответствующие упругому деформированию балки; затем по кривизнам, полученным в очередном приближении, для каждой точки j конечно-разностной модели балки (рис. 2) находится строчка соответствующей таблицы, содержащая жесткость следующего приближения. Решение показывает высокую эффективность и устойчивую сходимость.

Компьютерное моделирование. Компьютерная модель конструкции представлена на рис. 4. Расчеты выполнялись в ПК ЛИРА. Геометрические размеры элементов конструкции и физические параметры материалов соответствуют характеристикам конструкции в натурном эксперименте. Условия соединения и опирания элементов конструкции обеспечиваются применением объединений перемещений узлов модели, абсолютно жестких тел и односторонних связей.

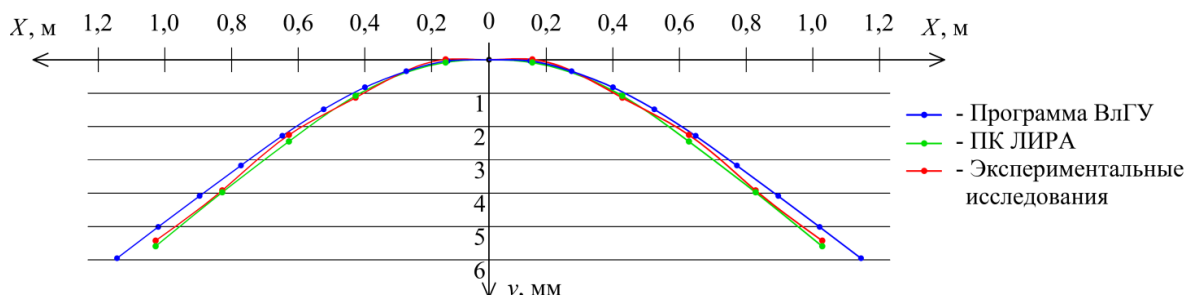


**Рисунок 4 – Общий вид модели
сборно-моноконтного покрытия в ПК ЛИРА**

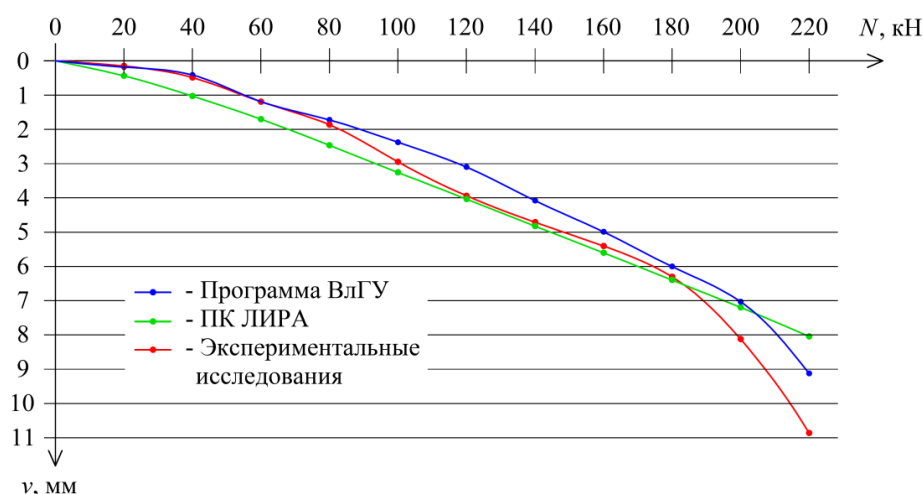
Расчет конструкции выполнен шагово-итерационным методом с учетом физической и конструктивной нелинейности. Для учета физической нелинейности работы бетона был использован интегрированный в ПК экспоненциальный закон деформирования, а для арматуры была задана двухлинейная диаграмма деформирования. Для учета конструктивной нелинейности были использованы односторонние связи моделирующие заполнение шва между продольными ребрами плит цементно-песчаным раствором.

Сравнение результатов. На рис. 5 показаны эпюры вертикальных перемещений плит при общей нагрузке на конструкцию 160 кН; на рис. 6 – возрастание вертикального перемещения точки "1" относительно точки "9" по рисунку 2 при постепенном увеличении нагрузки до предельного значения 220 кН.

Вертикальные перемещения по линиям продольных ребер плит (рис. 5) на удалении от оси симметрии в 1,0 м составляют: по результатам экспериментальных исследований – 5,4 мм; по результатам расчета по программе ВлГУ – 5,0 мм; по результатам расчета в ПК ЛИРА – 5,6 мм. Максимальное расхождение между экспериментальными и численными исследованиями составляет 8%, что подтверждает достоверность полученных результатов.



**Рисунок 5 – Вертикальные перемещения по линиям продольных ребер плит
при общей нагрузке на конструкцию 160 кН**



**Рисунок 6 - Возрастание вертикального перемещения точки "1" относительно точки "9"
(см. рис. 2) при увеличении нагрузки**

Рисунок 6 достаточно явно отражает нелинейность деформирования конструкции, прогрессирующее возрастание перемещений при увеличении нагрузки и схожесть конфигурации кривых вертикальных перемещений.

Выводы

1. Картины деформирования фрагмента покрытия промышленного здания, полученные в ходе экспериментальных и теоретических исследований, имеют высокую сходимость.
2. Предложенное соединение ребристых плит между собой и с верхним поясом стропильной конструкции сваркой выпусков арматуры и монолитным бетоном обеспечивает совместную работу конструкций.
3. Плиты работают по неразрезной схеме, их вертикальные перемещения с достаточной точностью совпадают с полученными теоретически по двум различным методам с учетом нелинейности деформирования бетона и арматуры.
4. Выявлено, что арматурная сетка полки ребристой плиты на коротком участке около торцевого ребра (участок III, рис. 2) не имеет достаточной анкеровки и не может быть учтена в расчете. Это снижает предельную нагрузку по напряжениям сжатого бетона от 280 до 220 кН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 №635/8). М., 2012.
2. Семенов Д.А. Влияние диаграммы бетона « σ – ϵ » на результаты расчета нормального сечения железобетонного элемента по нелинейной деформационной модели / Д.А. Семенов // Бетон и железобетон. - 2015. №3. - С. 23 – 26.
3. Галустов, К.З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций / К.З. Галустов. - М.: Физматгиз, 2006. - 248 с.
4. Карпенко, С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций: Автореф. дис. д-р техн. наук: 05.23.01 / С.Н. Карпенко. - Москва, 2010. - 48 с.
5. Кодыш Э.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям / Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, Н.Н. Трекин. - М.: АСВ, 2010. - 352 с.
6. Тамразян, А.Г. Механика ползучести бетона / А.Г. Тамразян, С.Г. Есаян. - М.: МГСУ, 2012. - 524 с.
7. Гончаров, Е.Е. Моделирование ползучести бетона в дифференциальной форме с использованием реологических моделей / Е.Е. Гончаров // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-о строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-о образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ "Строительство", Ассоциация "Железобетон". (Москва, 12 – 16 мая 2014 г.). – М.: Изд-во МГСУ, 2014. Т.1. С. 21 – 27.
8. Кодыш, Э.Н. Влияние параметров идеализированных диаграмм деформирования бетона на расчетные значения прочности, трещиностойкости и деформаций изгибаемых и внецентренно сжатых элементов / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин., Д.Н. Трекин // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-о строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-о образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ "Строительство", Ассоциация "Железобетон". (Москва, 12 – 16 мая 2014 г.). - Москва: Изд-во МГСУ, 2014. - Т.1. - С. 69 – 76.
9. Шишов, И.И. Стропильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий / И.И. Шишов, С.И. Рощина, Х. Эззи, М.А. Рязанов // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-о строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-о образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ "Строительство", Ассоциация "Железобетон". (Москва, 12 – 16 мая 2014 г.). - Москва: Изд-во МГСУ, 2014. - Т.1. - С. 407 – 414.
10. Шишов, И.И. Рамные стропильные конструкции и плиты покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 метров / И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.А. Рязанов, Х. Эззи // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всерос. (II Междунар.) конф. НАСКР-2014. ЧГУ. (Чебоксары, 20 – 21 ноября 2014 г.). - Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2014. - С. 251 – 256.
11. Шишов, И.И. Несущие конструкции покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 или 18 метров / И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.А. Рязанов, Х. Эззи // Бетон и железобетон. - 2015. - №3. - С. 13 – 16.
12. Пат. 147222 RU, МПК E04B 7/20. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания / Рощина С.И., Шишов И.И., Эззи Х., Рязанов М.А.; патентообладатель ВлГУ. № 2014111352/03; заявл. 25.03.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл № 30.
13. Пат. 153641 RU, МПК E04B 7/20. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания на спаренных колоннах / Рощина С.И., Шишов И.И., Рязанов М.А., Эззи Х.; патентообладатель ВлГУ. № 2014149245/03; заявл. 05.12.2014; опубл. 27.07.2015. Бюл № 21.

14. Рязанов, М.А. Экспериментальные исследования работы сборно-монолитного покрытия производственного здания / М.А. Рязанов, И.И. Шишов, С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.С. Сергеев // БСТ – Бюллетень строительной техники. - 2016. - №12. - С. 57 – 61.

15. Рязанов, М.А. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования / М.А. Рязанов, И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.В. Лукин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2016. - №12. - С. 58 – 64.

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ)
Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительных конструкций.
E-mail: rsi3@mail.ru

Рязанов Максим Александрович

ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ)
Аспирант кафедры строительных конструкций
E-mail: makc85@bk.ru

Шишов Иван Иванович

ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ)
Кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры строительных конструкций
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

Репин Владимир Анатольевич

ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ)
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций
E-mail: skia2000@mail.ru

S.I. ROSHCHINA, M.A. RYAZANOV, I.I. SHISHOV, V.A. REPIN

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF RIBBED PLATES DEFLECTION AS A PART OF PRECAST COVERING OF AN INDUSTRIAL BUILDING

Results of experimental and theoretical investigations of the coating of an industrial building, in which the ribbed plates are rigidly connected between themselves and the girder in the places of their bearing by welding the protruding bars of the steel reinforcement and monolithic concrete have been presented. Compatibility of the work of structures and the influence of such connection on the work of the girder and ribbed plates have been estimated. Vertical plate displacement as per the lines of longitudinal ribs has been determined. Theoretical definition has been made by means of the LIRA software package and the program developed at VISU. In the first case, the solution has been obtained by step-by-step iterative method using the exponential law of concrete deformation and a bilinear diagram of the state of the reinforcement. In the second case, the method of elastic solutions has been used, where the method of finite differences has been used for each iteration. The recommended norms trilinear deformation diagram has been adopted for the compressed concrete, and bilinear deformation diagram has been adopted for the reinforcement. Comparison and analysis of the results have also been presented.

Key words: precast covering; deflection; experimental studies; numerous investigations; non-linearity of deformation; VISU program; rigidity.

REFERENCES

1. SP 63.13330.2012. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualiziro-vannaya redaktsiya SNIIP 52-01-2003 (utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 №635/8). М., 2012.
2. Semenov D.A. Vliyaniye diagrammy betona «s–e» na rezul'taty rascheta normal'nogo secheniya zhelezobetonного zlementa po nelineynoy deformatsionnoy modeli / D.A. Semenov // Beton i zhelezobeton. - 2015. №3. - S. 23 – 26.
3. Galustov, K.Z. Nelineynaya teoriya polzuchesti betona i raschet zhelezobetonnykh konstruksiy / K.Z. Galustov. - М.: Fizmatgiz, 2006. - 248 s.

4. Karpenko, S.N. Modeli deformirovaniya zhelezobetona v prirashcheniyakh i metody rascheta kon-struktsiy: Avtoref. dis. d-r tekhn. nauk: 05.23.01 / S.N. Karpenko. - Moskva, 2010. -48 s.
5. Kodysh E.N. Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchino-stoykosti i deformatsiyam / E.N. Kodysh, I.K. Nikitin, N.N. Trekin. - M.: ASV, 2010. -352 s.
6. Tamrazyan, A.G. Mekhanika polzuchesti betona / A.G. Tamrazyan, S.G. Yesayan. - M.: MGSU, 2012. - 524 s.
7. Goncharov, Ye.Ye. Modelirovaniye polzuchesti betona v differentsial'noy forme s ispol'zovaniyem reologicheskikh modeley / Ye.Ye. Goncharov // Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushcheye: nauch. trudy III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. RAN, Min-o stroit. i zhilishch. kommunal. khoz. RF, RIA, Min-o ob-raz. i nauki RF, MGSU, NITS "Stroitel'stvo", Assotsiatsiya "Zhelezobeton". (Moskva, 12 – 16 maya 2014 g.). – M.: Izd-vo MGSU, 2014. T.1. S. 21 – 27.
8. Kodysh, E.N. Vliyaniye parametrov idealizirovannykh diagramm deformirovaniya betona na ras-chetnyye znacheniya prochnosti, treshchinostoykosti i deformatsiy izgibayemykh i vnetsentrenno szhatykh elementov / E.N. Kodysh, N.N. Trekin., D.N. Trekin // Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushcheye: nauch. trudy III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. RAN, Min-o stroit. i zhilishch. kommunal. khoz. RF, RIA, Min-o ob-raz. i nauki RF, MGSU, NITS "Stroitel'stvo", Assotsiatsiya "Zhelezobeton". (Moskva, 12 – 16 maya 2014 g.). - Moskva: Izd-vo MGSU, 2014. - T.1. - S. 69 – 76.
9. Shishov, I.I. Stropil'nyye konstruktsii iz lineynykh i ploskikh elementov i ikh sovmestnaya rabota s plitami pokrytiy / I.I. Shishov, S.I. Roshchina, KH. Ezzi, M.A. Ryazanov //Beton i zhelezobeton – vzglyad v budu-shcheye: nauch. trudy III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. RAN, Min-o stroit. i zhilishch. kommunal. khoz. RF, RIA, Min-o obraz. i nauki RF, MGSU, NITS "Stroitel'stvo", Assotsiatsiya "Zhelezobeton". (Moskva, 12 – 16 maya 2014 g.). - Mos-kva: Izd-vo MGSU, 2014. - T.1. - S. 407 –414.
10. Shishov, I.I. Ramnyye stropil'nyye konstruktsii i plity pokrytiya promyshlennogo zdaniya pri shage poperechnykh ram 15 metrov / I.I. Shishov, S.I. Roshchina, M.A. Ryazanov, KH. Ezzi // Novoye v arkhitekture, pro-yektirovanii stroitel'nykh konstruktsiy i rekonstruktsii:materialy VIII Vseros. (IIMezhdunar.) konf. NASKR-2014. CHGU.(Cheboksary, 20 – 21noyabrya 2014 g.). - Cheboksary: Izd-vo Chuvash. Un-ta, 2014. - S. 251 – 256.
11. Shishov, I.I. Nesushchiye konstruktsii pokrytiya promyshlennogo zdaniya pri shage poperechnykh ram 15 ili 18 metrov / I.I. Shishov, S.I. Roshchina, M.A. Ryazanov, KH. Ezzi // Beton i zhelezobeton. - 2015. - №3. - S. 13 – 16.
12. Pat. 147222 RU, MPK Ye04V 7/20. Zhelezobetonnoye pokrytiye odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya / Roshina S.I., Shishov I.I., Ezzi KH., Ryazanov M.A.; patentoobladatel' VIGU. № 2014111352/03; zayavl. 25.03.2014 ; opubl. 27.10.2014. Byul № 30.
13. Pat. 153641 RU, MPK Ye04V 7/20. Zhelezobetonnoye pokrytiye odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya na sparennykh kolonnakh / Roshina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Ezzi KH.; patentoobladatel' VIGU. № 2014149245/03; zayavl. 05.12.2014 ; opubl. 27.07.2015. Byul № 21.
14. Ryazanov, M.A. Eksperimental'nyye issledovaniya raboty sborno-monolitnogo pokrytiya proiz-vodstvennogo zdaniya / M.A. Ryazanov , I.I. Shishov , S.I. Roshchina, Ye.A. Smirnov, M.S. Sergeyev // BST – Byulle-ten' stroitel'noy tekhniki. - 2016. - №12. - S. 57 – 61.
15. Ryazanov, M.A. Raschet izgibayemykh elementov s uchetom fizicheskoy nelineynosti deformirovaniya / M.A. Ryazanov, I.I. Shishov, S.I. Roshchina, M.V. Lukin // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. - 2016. - №12. - S. 58 – 64.

S.I. Roshchina

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Constructions
E-mail: rsi3@mail.ru

M.A. Ryazanov

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir
Postgraduate student of the Department of Building Constructions
E-mail: makc85@bk.ru

I.I. Shishov

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Building Constructions
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

V. A. Repin

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Constructions

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК С УЧЕТОМ СНИЖЕНИЯ (ДЕГРАДАЦИИ) ЖЕСТКОСТИ ОПОРНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье приведены методы расчета надежности металлических балок на стадии эксплуатации с учетом жесткости опорных креплений и при ее снижении (деградации). В рассмотренных методах учитывается неполнота статистической информации о контролируемых параметрах в расчетных математических моделях предельных состояний. Приведены краткие сведения о методике определения угловых жесткостей металлических балок на стадии эксплуатации. Получены формулы для определения значения предельной нагрузки на металлические балки по критерию прочности при различных расчетных схемах и опорных креплениях. Материалы данной статьи могут быть полезны работникам эксплуатирующих организаций при обследовании и выявлении категории технического состояния зданий и сооружений в соответствии с требованиями Межгосударственного стандарта ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга». Алгоритм расчета надежности металлической балки рассмотрен на примере.

Ключевые слова: надежность, металлическая балка, жесткость опор, безопасность, теория возможностей

Согласно вступившему в силу с 2010 г. Закону РФ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», под термином «механическая безопасность» (конструкционная безопасность) понимается состояние строительных конструкций, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровья граждан, имуществу и окружающей среде. Одним из количественных показателей механической (конструкционной) безопасности может служить надежность. Согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», надежность – это способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. В дальнейшем под мерой надежности будем понимать вероятность безотказной работы. В [1] отмечается, что для проектирования конструкций с учетом требований обеспечения их прочности, устойчивости и долговечности, принцип безопасности может быть реализован в максимальной мере при условии дальнейшего развития методов расчета надежности строительных конструкций. Развитию методов расчета надежности металлических балок посвящена данная статья.

Определение вероятности P безопасности эксплуатации или надежности металлической балки определяется по критериям прочности и жесткости, как для условной последовательной механической системы (в понятиях теории надежности), по формуле: $P = P_1 \cdot P_2$, где P – вероятность безотказной работы балки в целом; P_1 – по критерию прочности и P_2 по критерию жесткости. ГОСТ 27751-2014 рекомендует производить расчет надежности вероятностно-статистическими методами при наличии достаточных данных об изменчивости контролируемых параметров в математических моделях предельных состояний или, словами ГОСТ, «если количество (длина ряда) данных позволяет производить их статистический анализ». Однако зачастую для индивидуальных несущих элементов, например балок, не удается получить полную статистическую информацию о контролируемых параметрах в связи с ограниченным количеством времени и средств на испытания, отсутствием самого объекта (на стадии проектирования), из-за некоторых конструктивных особенностей объекта и т.д. В этом случае необходимо использовать методы расчета надежности на основе теории воз-

можностей [2]. На этой основе приведен расчет надежности металлической балки по критерию прочности в работе [3]. Однако в этой работе используются расчетные схемы балок с шарнирными опорами. В работе авторов [4] показано, что оценка несущей способности балки по уточненным расчетным схемам, т.е. с учетом влияния жесткости опор, позволяет в некоторых случаях выявить резерв несущей способности или, наоборот, выявить ее снижение в результате уменьшения значения жесткости опор балки. Анализ надежности металлической балки с учетом фактора времени в условиях пожара рассмотрен в работе [5]. Однако в [5] также не учитывается влияние жесткости опорных закреплений. Расчет надежности металлической балки по критерию прочности и жесткости вероятностно-статистическими методами рассмотрен в работе [6]. Известно [7], что достоверный прогноз безотказной работы конструкции может быть основан только на экспериментальных данных. Для металлических конструкций это данные о деформациях и прочности металла. Эти данные и будут использованы в статье.

Нами предлагается новый подход к расчету надежности балок по критерию прочности, а именно при учете угловой жесткости опор и при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах (деформациях). Одна из разновидностей расчетных схем балок, рассматриваемых в работе, представлена на рис. 1, а.

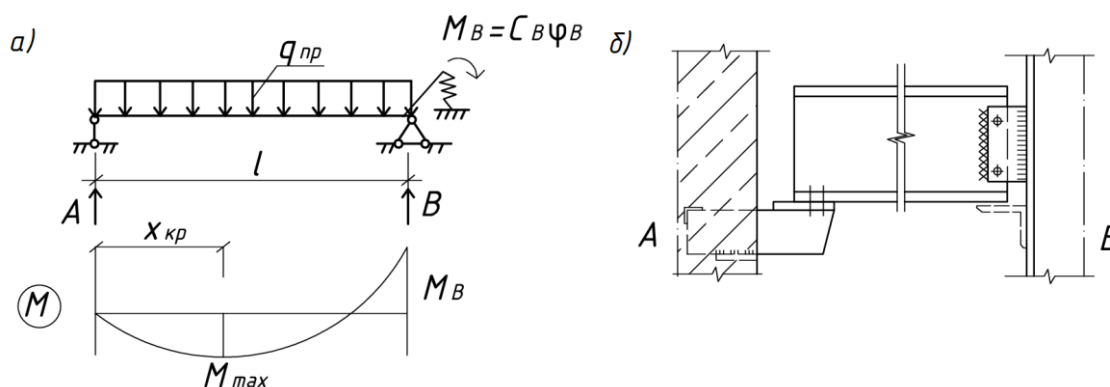


Рисунок 1 - Расчетная схема балки и модель эпюры изгибающего момента M . Действительная схема балки: шарнирный A и упругоподатливый B узлы крепления металлической балки [8]

Такая схема балок используется, например, в зданиях с несущим каркасом, в котором один конец B балки сопрягается с колонной упругоподатливо (с угловой жесткостью опоры C_B), как показано на рис. 1, б, а другой конец A может быть представлен в виде шарнирной опоры ($C_A=0$).

Для расчета надежности металлической балки по критерию прочности можно использовать различные виды расчетной модели предельного состояния:

$$\tilde{q}_{экс} \leq \tilde{q}_{пр}, \text{ или } \tilde{M}_{экс} \leq \tilde{M}_{пр}, \text{ или } \tilde{\sigma}_{экс} \leq \tilde{\sigma}_{пр}, \quad (1)$$

где $\tilde{q}_{экс}$ - эксплуатационная распределенная нагрузка (с учетом собственного веса), определяемая измерениями; $\tilde{q}_{пр}$ - предельная равномерно распределенная нагрузка, определяемая по условию прочности балки при изгибе с учетом жесткости опорного закрепления B и устанавливаемая по результатам испытаний балки на стадии эксплуатации; $\tilde{M}_{экс}$ - наибольший изгибающий момент от эксплуатационной нагрузки $\tilde{q}_{экс}$ на металлической балке; $\tilde{M}_{пр}$ - предельный изгибающий момент по критерию прочности. В качестве характеристики прочности стали используем $\sigma_{0,02}$ - предел упругости, т.к. теоретическая часть расчета построена для упругих деформаций.

Первый вид расчетной математической модели в (1) более доступен в понимании как специалиста так и не специалиста при оценке безопасности эксплуатации балки. Этой моде-

ли и будем придерживаться в дальнейшем. Для расчета надежности стальной балки по модели (1) предварительно необходимо определить угловую жесткость опорных закреплений и установить прочность стали балки в виде характеристики $\sigma_{0,02}$ для более осторожного подхода. Значение $\sigma_{0,02}$ устанавливается по проектной документации или по информации с завода изготовителя балки, а также неразрушающими испытаниями стали.

Метод определения угловой жесткости опор некоторых балок был описан в работе авторов [4], где получены формулы предельной равномерно распределенной нагрузки q_{np} в виде детерминированной величины. В [9] доказана независимость значения жесткости опор от вида нагрузки.

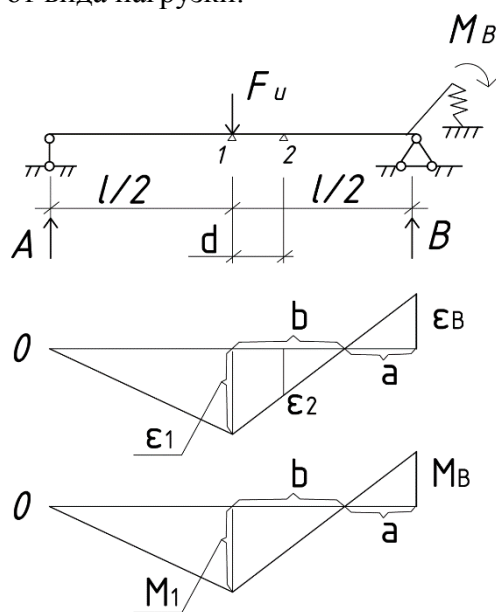


Рисунок 2 - Расчетная схема балки, эпюра относительных деформаций ϵ и изгибающих моментов M

Приведем некоторые сведения из [4] по методике определения угловой жесткости $C_B = M_B / \varphi_B$ опорного закрепления балки для расчетной схемы по рис. 1 при жесткости при изгибе $EJ = \text{idem}$. Для этого устанавливают на верхней или нижней грани поперечного сечения балки (в зависимости от доступности) измерители деформаций ϵ (например тензорезисторы) в сечениях 1 и 2, как показано на рис. 2, с измерением расстояний l и d . Затем балка нагружается испытательной нагрузкой F_u , как описано в [4], и измеряются деформации балки в местах установленных тензорезисторов, т.е. в сечениях 1 и 2. По значениям ϵ_1 и ϵ_2 строят эпюру ϵ , как показано на рис. 2. По эпюре ϵ , находят значения a и b при $EJ = \text{idem}$. Эпюру M строят из условия геометрического подобия ее с эпюрой ϵ (см. рис. 2). Число испытаний балки в одних и тех же условиях должно быть не менее трех [10]. Значения

$$b_i = \frac{d}{1 - \epsilon_{2,i} / \epsilon_{1,i}} \text{ и } a_i = 0,5l - \frac{d}{1 - \epsilon_{2,i} / \epsilon_{1,i}}$$

находят из подобия треугольников (см. рис. 2). В дальнейших записях символ i подразумевается, но не вводится в обозначения (для сокращения).

Из рис. 2 видно, что $M_B = M_{\max} a / b$ при $\epsilon_1 > \epsilon_2$. Испытательная нагрузка F_u в виде сосредоточенной силы в середине пролета балки для схемы по рис. 2 вызывает наибольший изгибающий момент на опоре B балки (при большой угловой жесткости опоры) или в середине пролета балки. Рассмотрим расчет надежности балки по расчетной схеме рис. 1 по критерию прочности в условиях упругой деформации балки, при котором наибольший изгибающий момент M_{\max} от испытательной нагрузки F_u будет возникать в середине пролета балки (при сравнительно малой угловой жесткости C_B опоры B). Значение предельного изгибающего момента в сечении балки примем из условия прочности металла балки в виде $M_{np} = \sigma_{0,02} W$, где W – момент сопротивления поперечного сечения балки. Для стали с одного и того же завода, коэффициента вариации $\sigma_{0,2}$ по [11] составляет $\mu = 0,01-0,04$. При таком значении μ изменчивостью $\sigma_{0,2}$ в расчетах надежности строительных конструкций по [12] можно пренебречь и считать $\sigma_{0,2}$ детерминированной величиной. Это относится и к пределу упругости $\sigma_{0,02}$. Тогда при известном значении $M_{np} = \sigma_{0,02} W$ и $M_B = M_{\max} a / b$, выражений a и b через ϵ_1 , ϵ_2 , l и d , после преобразований получим:

$$M_B = \sigma_{0,02} W \left[\frac{l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)}{2d} - 1 \right]. \quad (2)$$

Для определения жесткости $C_B = M_B / \varphi_B$ найдем угол поворота φ_B сечения балки на опоре B в расчетной схеме по рис. 1 методами строительной механики [13]. В окончательном виде получим $\varphi_B = \frac{l}{12EJ} (2,5M_B - M_{np})$.

Угловая жесткость C_B опоры B (независимо от вида нагрузки [9]) определяется из выражения $C_B = \frac{M_B 12EJ}{l(2,5M_B - M_{np})}$. С учетом (1) и $M_{np} = \sigma_{0,02} W$ для каждого из n результатов испытаний балки нагрузкой F_u с учетом равенства $\varepsilon_{2,np} / \varepsilon_{1,np} = \varepsilon_2 / \varepsilon_1$ при упругих деформациях получим (без индексов):

$$C_B = \frac{12EJ}{l[2,5 - 1/[l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)/(2d) - 1]]}. \quad (3)$$

Описанная выше экспериментально-теоретическая методика определения C_B может быть использована и для балки с M_{\max} в приопорном сечении B (рис. 2). Для сокращения объема статьи приводим для этого случая результаты расчетов C_B в окончательном виде:

$$C_B = \frac{4,8EJ[l\varepsilon_2 - \varepsilon_1(l + 2d)]}{l[l\varepsilon_2 - \varepsilon_1(l + 2,8d)]}. \quad (4)$$

После определения значений $C_{B,i}$ (в дальнейшем C_B) в результате нескольких испытаний балки, рассмотрим расчет надежности балки по критерию прочности со случайной эксплуатационной нагрузкой для варианта с M_{\max} в приопорном сечении B по расчетной схеме рис. 1. В соответствии с основным постулатом метрологии [14] отсчеты ε_1 и ε_2 являются случайными числами.

Предварительно найдем значение предельной нагрузки $q_{пр,i}$ по критерию прочности балки при известных числовых значениях $\varepsilon_{1,i}$ и $\varepsilon_{2,i}$. Металлическая балка с расчетной схемой по рис. 1 один раз статически неопределимая. Каноническое уравнение метода сил для каждого отдельного загрузения балки условно предельной нагрузкой $q_{np,i}$, как детерминированной величиной (в дальнейшем без индекса i для сокращения обозначений), имеет вид [13]:

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1F} = -\varphi_B, \quad (5)$$

где для балки по рис. 1 при нагрузке q_{np} имеем $X_1 = C_B \varphi_B$. Для принятого варианта балки при $M_{\max} = M_{np,B} = \sigma_{0,02} W$, значение $X_1 = M_{np,B}$ в (5) известно. Перемещения по [13] будут $\delta_{11} = \frac{l}{3EJ}$, $\Delta_{1F} = -\frac{q_{np} l^3}{24EJ}$, где $EJ = idem$. Подставляя в (5) полученные перемещения δ_{11} и Δ_{1F} с учетом $X_1 = M_{np,B} = \sigma_{0,02} W$ и $\varphi_B = X_1 / C_B$, после преобразований получим выражение для предельной нагрузки q_{np} , в котором C_B случайное число, т.к. выражено через случайные числа ε_1 и ε_2 . Таким образом, будем иметь несколько значений $q_{пр,i}$:

$$q_{пр,i} = \frac{24 \cdot \sigma_{0,02} WEJ}{l^3} \left(\frac{l}{3EJ} + \frac{1}{C_{B,i}} \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Модуль упругости стали E можно принять детерминированной величиной, т.к. его статистическая изменчивость мала [12].

По рис. 1 с $M_{\max} = M_B$ угловая жесткость C_B опоры балки описывается выражением (3). С учетом (3) после преобразований из (6) получим некоторое множество значений $\{q_{np}\}$ предельной нагрузки по каждому испытанию балки и i -му результату измерения деформаций ε_1 и ε_2 :

$$q_{np,i} = \frac{2 \cdot \sigma_{0,02} W}{l^2} \left(6,5 - 1 / \left[\frac{l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)_i}{2d_i} - 1 \right] \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

В связи с ограниченностью статистической информации о \tilde{q}_{np} будем описывать ее возможным методом.

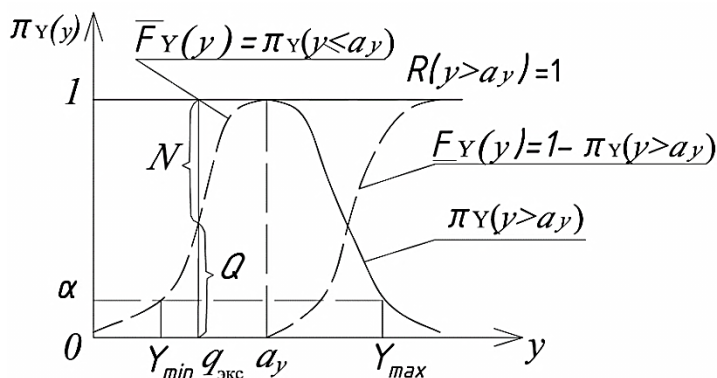


Рисунок 3 - График функции распределения возможностей. $\bar{F}_Y(y)$, $F_Y(y)$ – левая и правая (верхняя и нижняя) ветви функции $\pi_Y(y)$

Предельная нагрузка $q_{np,i}$ определяется по формуле (7) (по результатам не менее 3 испытаний). При эксплуатационной нагрузке $q_{экс}$ постоянной по значению, математическая модель предельного состояния балки по (1) будет $q_{экс} \leq \tilde{q}_{np}$. Обозначим: $\tilde{q}_{np} = Y$. Будем описывать Y функцией распределения возможностей [15], представленной на рис. 3, с аналитическим выражением:

$$\pi_Y(y) = \exp \left[- \left(\frac{y - a_y}{b_y} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где $a_y = 0,5 \cdot (Y_{\max} + Y_{\min})$;

$b_y = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})}{\sqrt{-\ln \alpha}}$, где Y_{\max} и Y_{\min} – наибольшее и наименьшее значения во множестве $\{Y\}$ нечеткой переменной Y , полученных по результатам определений нагрузки \tilde{q}_{np} ; $\alpha \in [0;1]$ – уровень среза, значением которого задаются [16].

При $q_{экс} \leq a_y$ возможность безотказной работы балки $R=1$, а возможность отказа $Q = \pi_Y(y = q_{экс})$. Необходимость безотказной работы $N=1-Q$. Надежность балки по критерию прочности будет характеризоваться интервалом $[N, R]$ или в вероятностных показателях $[\underline{P}; \bar{P}]$, где \underline{P} и \bar{P} – нижнее и верхнее значение вероятности безотказной работы.

Более важной задачей для практики является вариант расчета надежности балки, в котором $\tilde{q}_{экс}$ является нечеткой переменной или случайной величиной. Эксплуатационная нагрузка $\tilde{q}_{экс}$ определяется измерениями [7]. Будем описывать нечеткую переменную $\tilde{q}_{экс}$ функцией распределения вида (8). Введем обозначения $\tilde{q}_{экс} = X$, $\tilde{q}_{np} = Y$. Оперативная надежность балки будет определяться по математической модели предельного состояния (1) в виде:

$$X \leq Y. \quad (9)$$

Условие (9) представлено на рис. 4. Из рис. 4 видно, что при выполнении условия $a_x \leq a_y$ («средняя» эксплуатационная нагрузка меньше или равна «средней» предельной нагрузке), возможность безотказной работы балки [16] принимается $R=1$. Для определения необходимости безотказной работы N балки необходимо вычислить значение x^* (или y^*), см. рис. 4, которое можно найти из решения уравнения $\pi_X(x) = \pi_Y(y)$ при $x = y = x^*$, т.е. из равенства:

$$\left| \frac{(x^* - a_x)}{b_x} \right| = \left| \frac{(x^* - a_y)}{b_y} \right|, \quad (10)$$

Из всех полученных значений x^* по (10) выбирают то, которое удовлетворяет условию $a_x \leq x^* \leq a_y$, как показано на рис. 4. Подставляя значение $x^* = y^*$ в (8), находят возможность отказа Q . Соответственно необходимость безотказной работы балки будет $N=1-Q$.

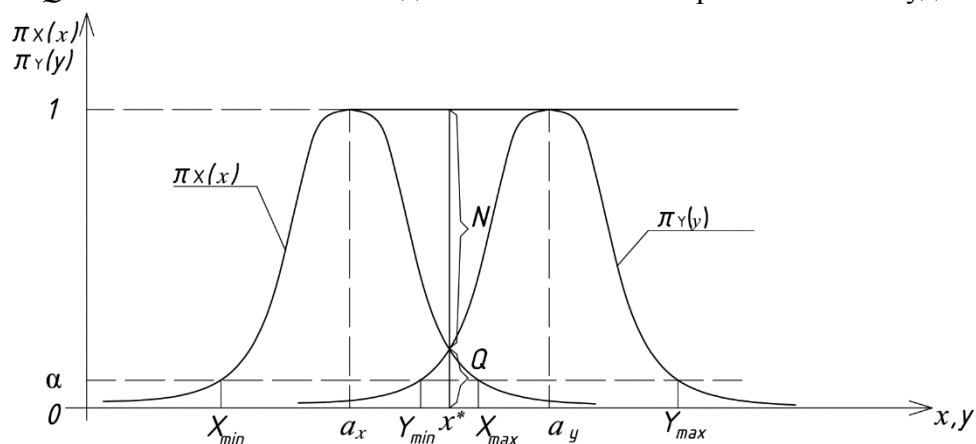


Рисунок 4 - Графики функций $\pi_X(x)$ и $\pi_Y(y)$ при $a_x < a_y$

Пример 1. Пусть условно известны значения: $\tilde{q}_{\text{экс}} = X = \{7,1; 7,3; 7,2\}$ кН/м; $\tilde{q}_{\text{пр}} = Y = \{7,5; 7,45; 7,55\}$. Вычислим: $a_x = 7,2$ кН/м; $b_x = 0,12$ кН/м; $a_y = 7,5$ кН/м; $b_x = 0,06$ кН/м при $\alpha = 0,05$. Т.к. выполняется условие $a_x \leq a_y$, то возможность безотказной работы балки принимается $R=1$. По (10) имеем: $x^* = 7,39$ кН/м и $x^* = 7,79$ кН/м. Принимаем $x^* = 7,39$ кН/м, т.к. $a_x \leq x^* \leq a_y$. Возможность отказа определяется как

$$Q = \exp \left[- \left(\frac{x^* - a_x}{b_x} \right)^2 \right] = 0,083. \text{ Соответственно необходимость безотказной работы балки со-}$$

ставит $N = 1 - 0,083 = 0,917$. Надежность металлической балки по критерию прочности характеризуется интервалом $[0,917; 1]$.

Рассмотрим следующий вариант, в котором предельный (максимальный) момент M_{max} возникает в пролете балки при некотором значении $x_{\text{кр}}$, которое необходимо найти.

Опорная реакция A в расчетной схеме по рис. 1: $A = \frac{0,5ql^2 - M_B}{l}$. Т.к. в общем случае

$M(x) = Ax - 0,5qx^2$, то:

$$M_{\text{max}} = Ax_{\text{кр}} - 0,5qx_{\text{кр}}^2. \quad (11)$$

$\frac{dM(x)}{dx} = A - qx$. Отсюда $x_{кр} = \frac{A}{q}$ или $x_{кр} = \frac{0,5ql^2 - M_B}{lq}$. После подстановки значений $M_{max} = \sigma_{0,02}W_B$, реакции $A = \frac{0,5qb^2 - M_B}{l}$ и $x_{кр}$ в (5) и (11) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} X_1 \left(\frac{l}{3EJ} + \frac{1}{C_B} \right) - \frac{q_{пр} l^3}{24EJ} = 0 \\ \sigma_{0,02}W = \frac{0,5q_{пр}l^2 - X_1}{l} \left(\frac{0,5q_{пр}l^2 - X_1}{lq} \right) - 0,5q_{пр} \left(\frac{0,5q_{пр}l^2 - X_1}{lq} \right)^2. \end{cases} \quad (12)$$

Решая систему уравнений (12), относительно неизвестного $q_{пр}$, найдем:

$$q_{пр} = \frac{14,2 \cdot \sigma_{0,02}W(C_B^2 l^2 + 6C_B l E J + 20E^2 J^2)}{l^2(C_B l + 4EJ)^2}. \quad (13)$$

Для балки с обеими упругоподатливыми опорами (дважды статически неопределимой) будем иметь два канонических уравнения вида (5) и набор значений относительных деформаций: $\varepsilon_{1,i}, \varepsilon_{2,i}, \varepsilon_{3,i}$ в трех сечениях балки, которые позволяют выявить значения $a_{1i}, b_{1i}, a_{2i}, b_{2i}, \varphi_{A,i}, \varphi_{B,i}$, а также $q_{пр,i}$. Для сокращения объема статьи, приведем формулу для определения предельной нагрузки по критерию прочности приопорного сечения В в окончательном виде (без индексов i):

$$q_{пр} = \frac{12\sigma_{0,2}W(12E^2 J^2 + C_A C_B l^2 + 4C_A E J l + 4C_B E J l)}{C_B l^3(6EJ + C_A l)}. \quad (14)$$

Методика определения жесткостей для рассматриваемого варианта балки C_A и C_B в (14) описана в работах авторов [4, 17]. Получаем множество значений $\{q_{пр}\}$ предельной нагрузки по каждому результату испытаний балки. Надежность в этом случае определяется аналогично первому варианту балки.

Выводы.

1. Предложен метод расчета надежности металлической балки с учетом угловой жесткости опорных закреплений на стадии эксплуатации при неполной статистической информации о контролируемых параметрах, позволяющие выполнить требования ГОСТ 27751-2014;
2. Алгоритмы расчета надежности приведены на примере;
3. По аналогии с приведенными расчетами надежности металлической балки можно выполнить расчет надежности для балок с другими расчетными схемами, видами нагрузок и из других материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы [Текст] / Тамразян А.Г. // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №8. - С. 30-33.
2. Дюбуа, Л. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Дюбуа Л., Прад А. - М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.
3. Редькин, А.Н. Определение надежности металлических конструкций при ограниченной информации по критерию несущей способности [Текст] / Редькин А.Н. // Вестник гражданских инженеров. - 2012. - №4(33). - С. 274-280.
4. Уткин, В.С. Определение несущей способности металлических балок на стадии эксплуатации с учетом жесткости опорных закреплений [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. №3. С. 100-109.

5. Mu, Q. The analysis on time-dependent reliability of steel structural components under fire conditions / Mu Q., Fangfang G., Jitao Z. etc. // International journal of smart house. - 2015. - Vol. 9. - No. 11. - pp. 29-36.
6. Abubakar, I. Reliability analysis of simply supported steel beams / Abubakar I., Pius E. // Australian journal of basic and applied sciences. 2007. No. 1. pp. 20-29.
7. Лужин, О.В. Обследование и испытание сооружений [Текст] / Лужин О.В., Злочевский А.Б., Горбунов И.А. и др. - М.: Стройиздат, 1987. - 263 с.
8. Беленя, Е.И. Металлические конструкции [Текст] / Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С. и др. - М.: Стройиздат, 1986. - 560 с.
9. Коржов О.В. Несущая способность и деформативность податливых узловых сопряжений стальных перекрестных балок [Текст]. Автореферат дисс... к.т.н. Москва. 2011. 25 с.
10. Джонсон, Д. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. Перевод с англ. Под ред. Э.К. Лецкого [Текст] / Джонсон Д., Лион Ф. - М.: Мир, 1980. - 606 с.
11. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций. Пер. с нем. О.О. Андреева [Текст] / Шпете Г. - М.: Стройиздат, 1994. - 288 с.
12. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании [Текст] / Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. - М.: Стройиздат, 1988. - 584 с.
13. Ржаницын, А.Р. Строительная механика. 2-е изд., перераб. [Текст] / Ржаницын А.Р. - М.: Высшая школа, 1991. - 439 с.
14. Шишкин, И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством. Учеб. для вузов. Под ред. акад. Н. С. Соломенко [Текст] / Шишкин И.Ф. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 342 с.
15. Уткин, В.С. Расчет надежности железобетонной балки на стадии эксплуатации по критерию длины трещины в бетоне [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А. // Вестник МГСУ. - 2016. - №1. - С. 68-79.
16. Уткин, В.С. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов возможным методом [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А., Каберова А.А // Строительная механика и расчет сооружений. - 2015. - №6. - С. 63-67.
17. Уткин, В.С. Определение предельной нагрузки на металлическую балку по критерию перемещений (прогиба) на стадии эксплуатации / Уткин В.С., Соловьев С.А. // Строительство и реконструкция. - 2016. - №6. - С. 85-89.

Уткин Владимир Сергеевич

Вологодский государственный университет (ФГБОУ ВО ВоГУ)

Доктор технических наук, профессор кафедры ПГС;

E-mail: utkinvogu@mail.ru

Соловьев Сергей Александрович

Вологодский государственный университет (ФГБОУ ВО ВоГУ)

Аспирант кафедры ПГС;

E-mail: ser6sol@yandex.ru

V.S. UTKIN, S.A. SOLOVYEV

RELIABILITY ANALYSIS OF EXISTING STEEL BEAMS WITH REDUCTION (DEGRADATION) OF THE RIGIDITY OF THE SUPPORT

The article presents methods of reliability analysis for existing steel beams with reduction of the rigidity of the support. In the reviewed methods is taken into account incompleteness of statistical information of controlled parameters in the design mathematical models of limit states. Information briefed for the method of evaluation the angular rigidity of the steel beams supports during the operation. The article presents the formulas for calculation the ultimate load on steel beams with various design schemes and rigidities supports by the strength criterion. The materials of this article can be useful to employees of the maintenance companies in the inspections and to identify the category of the technical condition of buildings and structures in accordance with the requirements of Interstate standard GOST 31937-2011 "Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring". The algorithm of reliability analysis of steel beams considered in the example.

Keywords: reliability, steel beam, support rigidity, theory of possibility, safety

REFERENCES

1. Tamrazjan, A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy [Tekst] / Tamrazjan A.G. // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. - 2014. - №8. - S. 30-33.
2. Djubua, L. Teorija vozmozhnostej. Prilozhenija k predstavleniju znanij v informatike [Tekst] / Djubua L., Prad A. - M.: Radio i svjaz', 1990. - 288 s.
3. Red'kin, A.N. Opredelenie nadezhnosti metallicheskih konstrukcij pri ogranichennoj informacii po kriteriju nesushhej sposobnosti [Tekst] / Red'kin A.N. // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. - 2012. - №4(33). - S. 274-280.
4. Utkin, V.S. Opredelenie nesushhej sposobnosti metallicheskih balok na stadii jekspluatacii s uchedom zhestkosti opornyh zakreplenij [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. №3. S. 100-109.
5. Mu Q., Fangfang G., Jitao Z. etc. The analysis on time-dependent reliability of steel structural components under fire conditions // International journal of smart house. 2015. Vol. 9. No. 11. pp. 29-36.
6. Abubakar I., Pius E. Reliability analysis of simply supported steel beams // Australian journal of basic and applied sciences. 2007. No. 1. pp. 20-29.
7. Luzhin, O.V. Obsledovanie i ispytanie sooruzhenij [Tekst] / Luzhin O.V., Zlochevskij A.B., Gorbunov I.A. i dr. - M.: Strojizdat, 1987. - 263 s.
8. Belenja, E.I. Metallicheskie konstrukcii [Tekst] / Belenja E.I., Baldin V.A., Vedenikov G.S. i dr. - M.: Strojizdat, 1986. - 560 s.
9. Korzhov O.V. Nesushhaja sposobnost' i deformativnost' podatlivyh uzlovyh soprzazhenij stal'nyh perekrestnyh balok [Tekst]. Avtoreferat diss... k.t.n. Moskva. 2011. 25 s.
10. Dzhonson, D. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnike i nauke. Metody obrabotki dannyh. Perevod s angl. Pod red. Je.K. Leckogo [Tekst] / Dzhonson D., Lion F. - M.: Mir, 1980. - 606 s.
11. Shpete, G. Nadezhnost' nesushhih stroitel'nyh konstrukcij. Per. s nem. O.O. Andreeva [Tekst] / Shpete G. - M.: Strojizdat, 1994. - 288 s.
12. Augusti, G. Veroyatnostnye metody v stroitel'nom proektirovanii [Tekst] / Augusti G., Baratta A., Kashiati F. - M.: Strojizdat, 1988. - 584 s.
13. Rzhanicyan, A.R. Stroitel'naja mehanika. 2-e izd., pererab. [Tekst] / Rzhanicyan A.R. - M.: Vysshaja shkola, 1991. - 439 s.
14. Shishkin, I.F. Metrologija, standartizacija i upravlenie kachestvom. Ucheb. dlja vuzov. Pod red. akad. N. S. Solomenko [Tekst] / Shishkin I.F. - M.: Izd-vo standartov, 1990. - 342 s.
15. Utkin, V.S. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnoj balki na stadii jekspluatacii po kriteriju dliny treshhiny v betone [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A. // Vestnik MGSU. - 2016. - №1. - S. 68-79.
16. Utkin, V.S. Znachenie urovnja sreza (riska) pri raschete nadezhnosti nesushhih jelementov vozmozhnostnym metodom [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A., Kaberova A.A. // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. - 2015. - №6. - S. 63-67.
17. Utkin, V.S. Opredelenie predel'noj nagruzki na metallicheskuju balku po kriteriju peremeshhenij (progiba) na stadii jekspluatacii / Utkin V.S., Solov'ev S.A. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. - 2016. - №6. - S. 85-89.

V.S. Utkin

Vologda State University
DSc, Professor
E-mail: utkinvogtu@mail.ru

S.A. Solovyev

Vologda State University
Post-graduate Student
E-mail: ser6sol@yandex.ru

E. HOUEHANOU, G. GBAGUIDI-AISSE, Y. TANKPINOU KIKI,
A. DJOSSOU, A. C. HOUNGAN, G. DEGAN

INFLUENCE OF THE USE OF THE DUNG OF COW ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTARS OF BAR GROUND

The use of the materials of proximity is imperative more and more in the traditional constructions and the house in rural areas. In numerous traditions, the dung of cow (DOC) is a basic material in the construction. However, the performances of the use of the dung of cow (DOC) in the construction are scientifically little proved. The present research project studied the influence of the use of the dung of cow on the compressive strength of mortars of bar ground for the usages of blocks in compressed ground (BCG) and/or blocks in stabilized ground (BSG). An analysis is led by comparing the compressive strength of reference mortars (simple bar ground and bar ground more 4 %, 8 % and 12 % of Portland cement) and mortars (simple bar ground and cement Portland) containing different proportions of BDV (2 %, 4 %, 6 %, 8 % and 10 %). The results mainly allowed to show that the addition of a small quantity (lower than 6 %) of DOC sawdust doesn't decrease the compressive strength of the mortar of bar ground, it tends to improve it slightly. Beyond a 6 % content, the addition of the DOC decreases systematically the compressive strength of the mortar of bar ground.

Keywords: Bar ground, stabilized, dung of cow, compressive strength.

1. Introduction

The population growth has for corollary the satisfaction of fundamental needs among which is situated the accommodation. In numerous countries, the ground constitutes the main material of construction and the traditional house is essentially with the material «ground» [4, 5, 16].

The cement is generally involved to stabilize the ground and techniques of compression come in support. Besides the compression and the stabilization by the cement, several other methods and materials are used in the constructions of traditional houses [2, 3, 8]. In number of these materials is the DOC which is a basic element in the construction. The DOC is the droppings of cow, of ox or of bull, and by extension of quite different bovidae (ruminants with hollow horns), the DOC is used in the construction for: the erection of walls, the treatment of cracks, the coating et the waterproofing of facing [7, 16]. It is mixed in certain materials of proximity (sand, ground, flau, branches...) to serve of binder, to give a solid character and to participate in the waterproofness of the material. The DOC so serves in the mortar for the traditional constructions. A study of traditional practices allowed to understand the interactions clays / bio-polymers. The DOC, bio-polymer plays a role of organic adjuvant coming from animal or vegetable when it is added to the material ground to improve its properties and the durability of the built in ground [4]. En France, the DOC was added to the plaster to improve its characteristics [7].

The use of the DOC in mortars of coating is widely spread in several countries of Africa [2, 18]. In Benin, it is used in particular in the North in Atacora and Donga regions (construction of Tata Somba) but also in the South in the lakeside villages. According to the testimonies, it confers on the houses, smooth, pleasant and fresh covers.

Recent studies inform about the incorporation of the sawdust of DOC and some ash of DOC in mortars and concretes [11, 17, 18]. In this context, a more fundamental approach to the study of the influence of the DOC in mixtures of mortar of bar ground and/or of cement finds its relevance. The mechanical characterization of mixtures of mortar containing some DOC will allow to estimate the performances brought back and transcribed by the literature as well as the habits and the practices which exist even nowadays.

2. Purpose of the research

The present article aims at studying the influence of the use of the DOC on the compressive strength of mortars in bar ground with use of blocks in compressed ground (BCG) and/or blocks in stabilized ground (BSG). This analysis will be done by comparing the compressive strength of reference mortars (earth of simple bar more Portland cement) and mortars containing various proportions of the BDV (simple bar ground and bar ground plus cement Portland). The article aims exactly at estimating the influence of the content in DOC on the compressive strength of various mortars put in experiment. The analysis of the results will allow to understand the interests of the use of the DOC in the habits and the practices of traditional constructions. She will also allow to determine an optimum content of incorporation of DOC for mortars of sufficient resistances.

3. Experimental program

The experimental program contains the study of the compressive strength of twenty four (24) different mortars with bar ground containing various proportions of Portland cement and/or DOC. Four (4) reference mortars (without dung of cow) are used with contents of 0 %, 4 %, 8 % and 12 % of cement. From these reference mortars, the DOC is introduced into proportions of 0 %, 02 %, 04 %, 06 %, 08 % and 10 %.

The compressive strength of twenty four (24) mortars was measured from cubic test tubes (edge 5 cm) and cylindrical (diameter: 50 mm and height: 100 mm) made by consolidation. The properties of fresh mortars and the results of the tests of compressive strength of test tubes so made are compared and analyzed.

4. Materials and procedures

4.1. Materials

4.1.1. Bar ground

The used bar ground in the preparation of test tubes is taken in the district of Glo-Djigbé (municipality of Abomey-Calavi / Republic of Benin). The taking is made at a depth about 1 meter of the natural ground. The site is located in twenty five kilometers (25 km) of the main campus of the University of Abomey-Calavi (UAC).

In the taking, the material is a clayey soil of red color. The results of the grain size analysis are presented in the table 1 and the figure 1.

Table 1- Grain size Analysis of the bar ground used

Sieve (mm)	Tailings cumulate (%)	Undersizes (%)
2.5	0	100
1.25	3,01	96,99
0.63	23,91	76,09
0.315	53,50	46,50
0.16	66,37	33,63
0.08	70,90	29,01
Undersize material	99,76	0,24

The material has a density in the saturated state dry surface of 2,43. Its absorption is 8,2 %. The material presents a fine grain size [NFP-94-056]. It has 29 % of elements of size lower than 0,080 mm. The maximal particles diameter is lower than 2,5 mm and the coefficient of fineness of the material is 1,47. The material is a muddy or clayey fine sand. The determined Atterberg limits following the specification NF P 94 – 051 of the

clayey sand are: liquidity limit (WL) is 40 %, plasticity index (WP) is 17 % and the plasticity limit (IP) is 23. It is thus about a « clayey sand (CS) » according to the classification LPC (1980).

4.1.2. Cement

The adjuvant used in the present study is a Portland cement. It is a cement produced in Benin by the company SCO-Lafarge. This cement contains 95 % of clinker and is delivered in 50 kg bag. The class of resistance of the used cement is up to standard NF EN 196-1.

4.1.3. Dung of cow

The DOC is found in abundance in the zones of concentration of breeding bovidae. The used material " DOC " in the present study is in the shape of sawdust. The DOC is taken on a site of experiment of breeding cattle belonging to the Faculty of Science of Agronomy (FSA) of the University of Abomey-Calavi (UAC). The site is located in the area Zopah in the Abomey-Calavi municipality (in 15 km of the main campus of the University of Abomey-Calavi (UAC).

The DOC is taken fresh (within 24 hours after the defecation) is returned to the Laboratory of Materials and Structures (LAMS), for a pre-sun-curing during ten (10) days then in the stove in a temperature of 60°C until constant mass. The dry material is reduced in the shape of sawdust by means of an mill of fine stitch of the Faculty of Science of Agronomy (FSA). The sawdust of dung of cow so obtained in a density of 1,09. The water content of the dung of cow in the fresh state (in the taking) is 300 %.

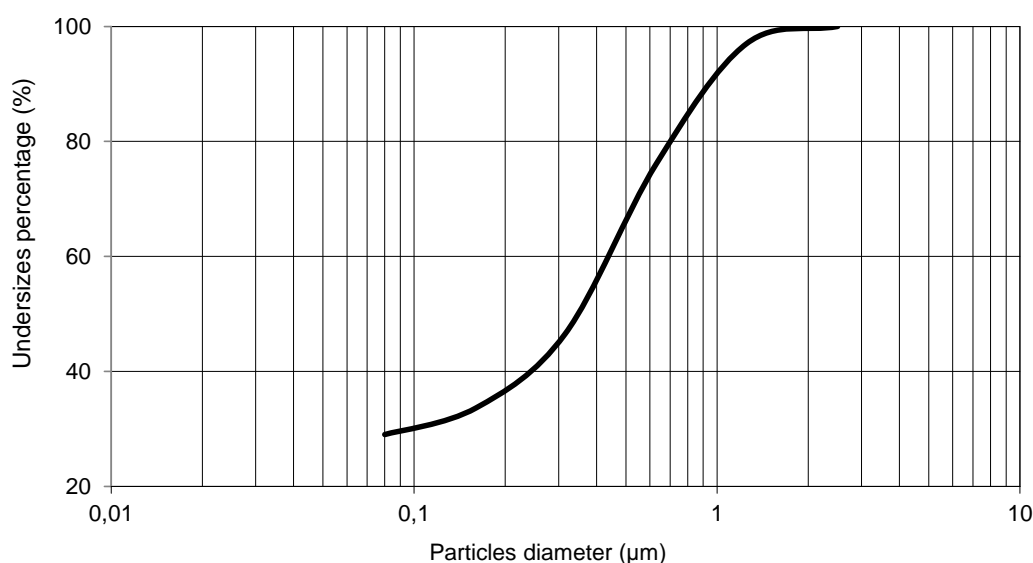


Figure 1- Sizing Curve of the used bar ground

4.2. Procedure

Besides the tests of characterization of materials (bar ground and sawdust of DOC), he is proceeded to the determination of the density on mortars in the fresh state and in the hardened state. The water content of fresh mortars is determined and the tests of compressive strength are made on the samples of mortars after 28 days of air drying.

4.2.1. Identification of mixtures

Mortars are identified in the following way: the letter (S) appoints the range, the first number appoints the water content in cement and the following number appoints the content in dung of cow. The ranges S-4-8 mortar of the series 4 % of cement and containing 8 % of DOC. The figure 2 presents a scheme to facilitate the identification of mortars.

4.2.2. Dosages of mortars

The different dosages are presented in the table 2.

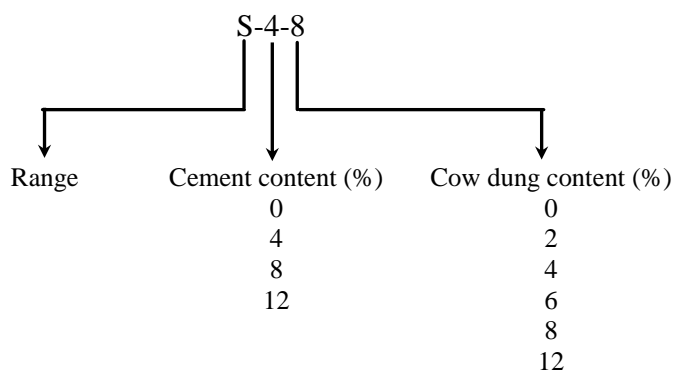


Figure 2- Identification scheme of mortars

Table 2- Different proportions of the used materials

Range	Identification	Content of materials (%)		
		Bar Ground	Cement	DOC
S-0 (0% de cement)	S-0-0	100	-	0
	S-0-2	98	-	2
	S-0-4	96	-	4
	S-0-6	94	-	6
	S-0-8	92	-	8
	S-0-10	90	-	10
S-4 (4 % de cement)	S-4-0	96	4	0
	S-4-2	94	4	2
	S-4-4	92	4	4
	S-4-6	90	4	6
	S-4-8	88	4	8
	S-4-10	86	4	10
S-8 (8 % de cement)	S-8-0	92	8	0
	S-8-2	90	8	2
	S-8-4	88	8	4
	S-8-6	86	8	6
	S-8-8	84	8	8
	S-8-10	82	8	10
S-12 (12 % de cement)	S-12-0	88	12	0
	S-12-2	86	12	2
	S-12-4	84	12	4
	S-12-6	80	12	6
	S-12-8	80	12	8
	S-12-10	78	12	10

The mortars S-0-0, S-4-0, S-8-0 and S-12-0 are the four (04) reference mortars. Their formulations are representative of uses and ordinary practice regarding mortar with use of blocks in compressed ground or blocks in stabilized ground [10, 12, 16]. They were also determined for purposes of comparison. The water content is determined to have the humidity necessary for the workability and for the preparation of samples. The dung of cow content varies from 0 % to 10 % to take the study into account.

4.2.3. Production of mortars and preparation of test tubes

All the mixtures are manually made. For every mixture, six (06) kg of mortar were produced. The quantity of added water is the one which assures the necessary workability for the preparation of test tubes. It is quantified by deduction from the data of the wet density and the dry density. The mortars are produced in three stages. Mixing until homogenization of the cement and the bar ground; then addition of the DOC and mixing (for mortars containing some cement), and finally, addition of mixing water and mixing until the obtaining of a homogeneous mixture.

Two types of test tubes were produced: the first type has cubic shape with 50 mm of edge and the second is cylindrical 50 mm in diameter and 100 mm in height [NF EN 13286-41] (figure 3). The cubic molds are filled in two (02) layers pounded by 25 knocks each with a tamping iron (metallic rod of diameter 15 mm with round ends). The cylindrical molds are filled in three (03) layers pounded by 25 knocks each. The samples are turned out after 24 hours and preserved in laboratory at room temperature during twenty eight (28) days.



(a)



(b)

Figure 3 – Test tubes made for the tests of compressive strength: (a) - cubic, (b) - cylindric

4.2.4. Determination of the density and the water content The density of the fresh mortar is determined in using a waterproof normalized container up to standard NFP94-053. The test tubes having served for determining the density of the fresh mortar are dried in the stove until constant mass and are used to determine the density of the dry mortar. The water content of mortars is determined according to the standard NFP94-050.

4.2.5. Characterization of the mechanical resistance. The used test for the mechanical characterization is the test of compressive strength. The tests are realized after 28 days. To minimize the effects of imperfections bound to the consolidation, the selected test tubes for the tests are the ones presenting the lowest spacing of masses thus having equivalent levels of consolidation. The test of compressive strength in the present study is made according to the standard NF EN 13286-41. The used equipment is a normalized mechanical press of Laboratory of Materials and Structure (Figure 4).

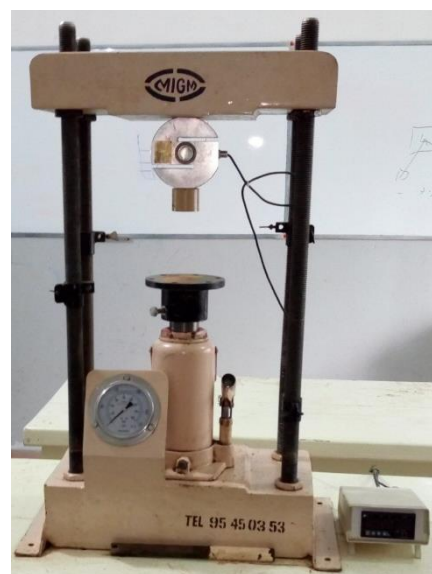


Figure 4 – Photo of the used mechanical press

5. Results

The table 3 presents the composition of mortars as well as the densities at the fresh state and at the dry state. The used bar ground of is in the saturated state surface dry (SS).

The highest water content is obtained with the mortar S-12-10 (12 % of cement and 10 % of DOC) whereas the lowest water content is obtained with the mortar S-0-0 (exempt of cement and of DOC). In a global way, the highest water contents are obtained for the strong dung of cow contents (8 % and 10 %).

The highest density is obtained with the mortar S-0-0 whereas the lowest density is obtained with the mortar S-0-10 (90 % of bar ground and 10 % of dung of cow). The highest densities are obtained for the low DOC contents (0 % and 2 %) and the lowest densities are obtained on mortars containing some strong DOC content (8 % and 10 %).

The table 4 presents the average values and the standard deviations of the compressive strength in twenty eight (28) days of all the test tubes (cubes and cylinders). The data analysis of this table shows that the average variability of the compressive strength of samples is of $\pm 0,19\text{MPa}$ for all the results. The average variability corresponds to the average of the individual spacing.

Table 3- Composition and characteristics of mixtures of mortars (kg / m³)

Range	Identification	Composition of mortars				Density	
		Bar ground	Cement	BDV	Water	Fresh	Hardened
S-0 (0% de cement)	S-0-0	1745	-	-	144	1889	1745
	S-0-2	1702	-	35	146	1883	1737
	S-0-4	1631	-	68	155	1854	1699
	S-0-6	1447	-	92	196	1735	1539
	S-0-8	1231	-	107	232	1570	1338
	S-0-10	1099	-	122	265	1486	1221
S-4 (4% de cement)	S-4-0	1502	63	-	150	1715	1565
	S-4-2	1481	63	32	161	1737	1576
	S-4-4	1396	62	62	176	1727	1551
	S-4-6	1265	58	86	213	1631	1438
	S-4-8	1183	55	110	259	1634	1375
	S-4-10	1088	52	130	300	1595	1295
S-8 (8% de cement)	S-8-0	1402	122	-	181	1705	1524
	S-8-2	1372	122	30	189	1713	1524
	S-8-4	1355	123	62	199	1739	1540
	S-8-6	1237	115	86	233	1671	1438
	S-8-8	1149	109	109	280	1648	1368
	S-8-10	1073	105	131	323	1631	1308
S-12 (12% de cement)	S-12-0	1354	185	-	206	1745	1539
	S-12-2	1318	184	123	213	1745	1532
	S-12-4	1242	177	118	231	1709	1478
	S-12-6	1150	168	112	269	1672	1403
	S-12-8	1063	159	106	327	1656	1329
	S-12-10	1012	156	104	370	1667	1297

Table 4- Compressive strengths of mortars after 28 days

Range	Identification	Compressive strength (MPa)			
		Cubes		Cylinders	
		Strengths	Standard deviation	Strengths	Standard deviation
0% of cement	S-0-0	1,30	0,17	0,97	0,22
	S-0-2	1,56	0,05	0,95	0,34
	S-0-4	1,59	0,08	0,96	0,18
	S-0-6	1,12	0,12	0,76	0,32
	S-0-8	0,86	0,02	0,61	0,14
	S-0-10	0,80	0,08	0,56	0,26
4% of cement	S-4-0	1,80	0,20	1,25	0,20
	S-4-2	1,96	0,13	1,32	0,27
	S-4-4	2,10	0,15	1,29	0,15
	S-4-6	1,71	0,15	1,12	0,23
	S-4-8	1,25	0,10	0,84	0,18
	S-4-10	1,04	0,09	0,63	0,38
8% of cement	S-8-0	3,20	0,20	2,12	0,19
	S-8-2	3,32	0,10	2,18	0,32
	S-8-4	3,51	0,17	2,24	0,26
	S-8-6	2,64	0,14	1,84	0,24
	S-8-8	2,32	0,18	1,32	0,15
	S-8-10	1,89	0,27	0,89	0,35
12% of cement	S-12-0	3,90	0,14	2,62	0,17
	S-12-2	3,96	0,17	2,58	0,25
	S-12-4	3,98	0,12	2,66	0,15
	S-12-6	3,18	0,14	2,28	0,31
	S-12-8	2,50	0,18	1,83	0,15
	S-12-10	2,15	0,21	1,48	0,21

The medium strength of all the test tubes for all types of mortar is 1,85 MPa with a medium relative variability of $\pm 10\%$ (0,19/1,85). The most important gaps between the test tubes are obtained with mortars S-4-10 (0,38), S-8-10 (0,35), S-0-6 (0,31) and S-12-6 (0,31). The average of the gaps for the cubic test tubes is 0,14 whereas the one of the cylindrical test tubes is 0,23. The strengths of the cylindrical test tubes present a dispersion relatively higher than the one of the cubic test tubes.

In most of the cases, the observed fracture on cylindrical test tubes took place on the first half of the test tube. The observed fracture on the cubic test tubes is on all the test tube (figure 5). La geometry and the mode of manufacturing of the BTC lead an anisotropy which results in a difference of compressive strength when the geometry and/or the mode of making test tubes change [10].

5.1. The compressive strengths of cubic samples

The histograms of the figure 6 show the evolution of the compressive strength in 28 days of the different test tubes by ranges (0 %, 4 %, 8 % and 12 % of cement). On the cubic test tubes, the highest compressive strength is obtained on the mortar S-12-4 containing 84 % of bar ground, 12 % cement and 4 % of DOC. The lowest is obtained on the mortar S-0-10 containing 90 % of bar ground, 0 % cement and 10 % of DOC. We note globally that the highest values are obtained with mortars having a stronger content in cement (12 %) with contents in DOC varying between 0 % and 4 %.

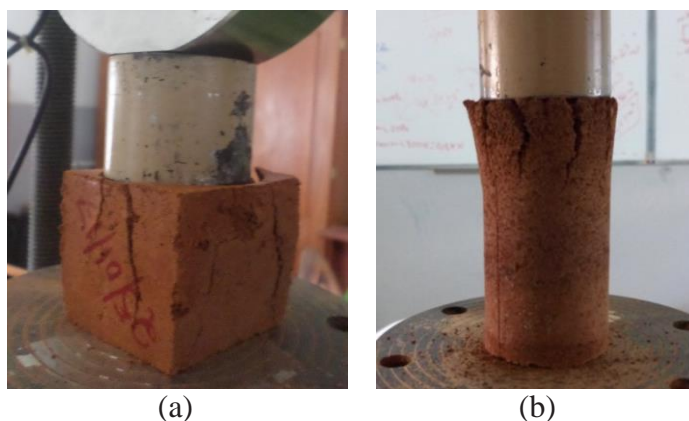


Figure 5- Fracture system of test tubes:
(a) - cubic, (b) - cylindric

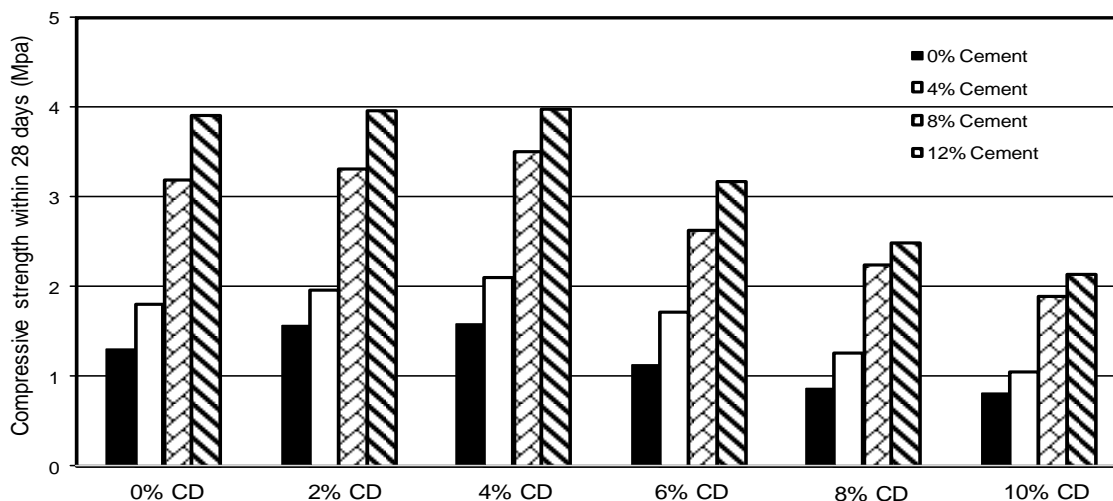


Figure 6- Compressive strength of bar ground mortars (cubic samples)

5.2. Compressive strengths of cylindrical samples

The figure 7 shows the evolution of the compressive strength of different cylindrical test tubes by series (0 %, 4 %, 8 % and 12 % of cement) stronger. The strongest and lowest values are respectively obtained on mortars S-12-4 and S-0-10. The tendency of the obtained results on the cylindrical test tubes is thus similar to the one obtained on the cubic test tubes.

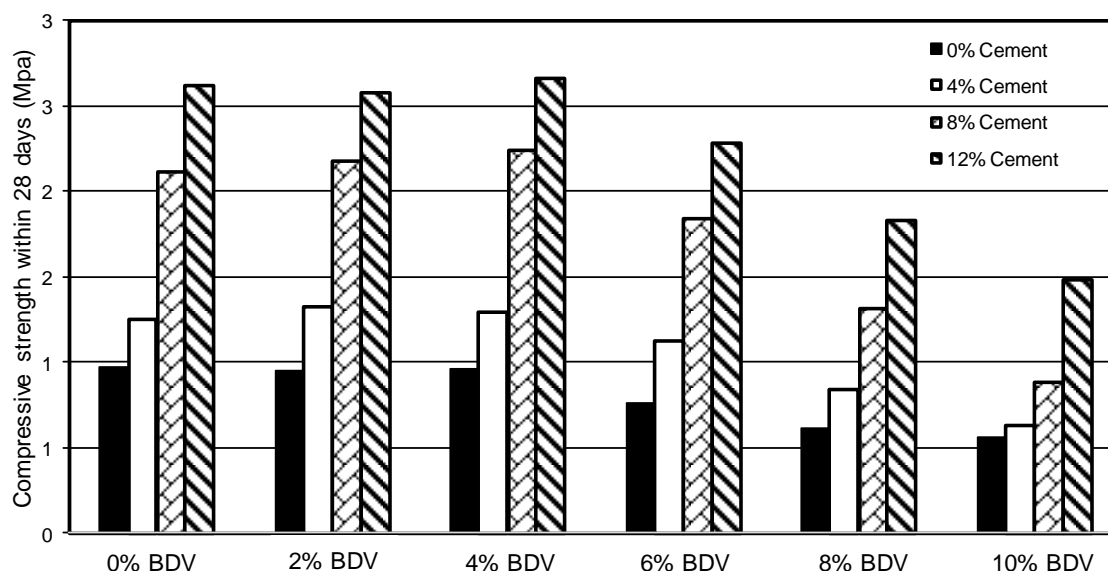


Figure 7- Compressive strength of bar ground mortars (cylindrical test tubes)

6. Analysis and discussion

6.1. Influence of the cement content on the strength of reference mortars

The figure 8 shows the influence of the cement content on the compressive strength of reference mortars. The compressive strength increases with the cement content. This behavior is typical for mortars of bar ground and up to the practice [1, 2, 12, 16]. It gives some explanation by the presence and the increase of silicates of hydrated calcium (C-S-H) consequent in the hydration of the present grains of cement in used mortars of bar ground [2, 14].

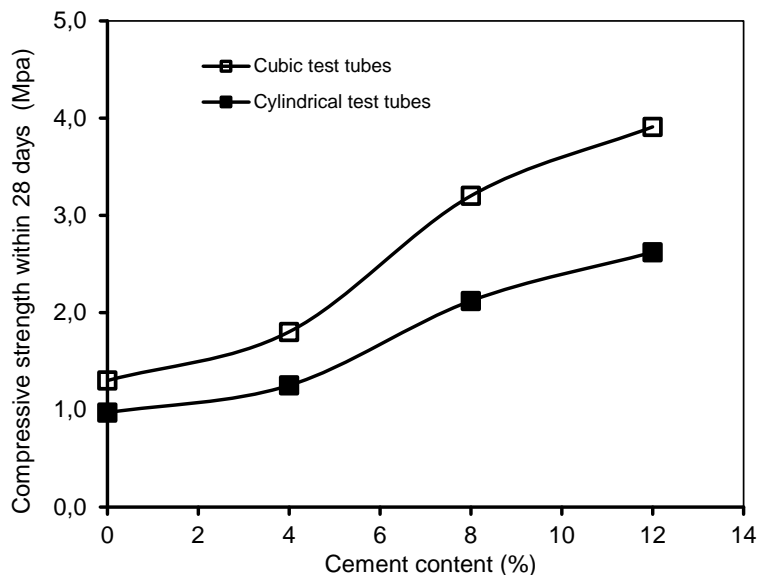


Figure 8- Influence of the cement content on the compressive strength of bar ground mortars

6.2. Influence of the dung of cow content on the water content of fresh mortars

The figure 9 shows the influence of the dung of cow content on the water content of mortars. For the four (04) series of mortar (0 %, 4 %, 8 % and 12 % of cement), the lowest water contents are obtained on mortars without dung of cow and the highest water contents are obtained with mortars containing 10 % of dung of cow. The water content of mortars thus increases with the dung of cow content. This behavior results from the absorbent character of the sawdust of dung of cow obtained by drying (section 4.1.3). Let us remind that the dung of fresh cow has a strong water content (300 %).

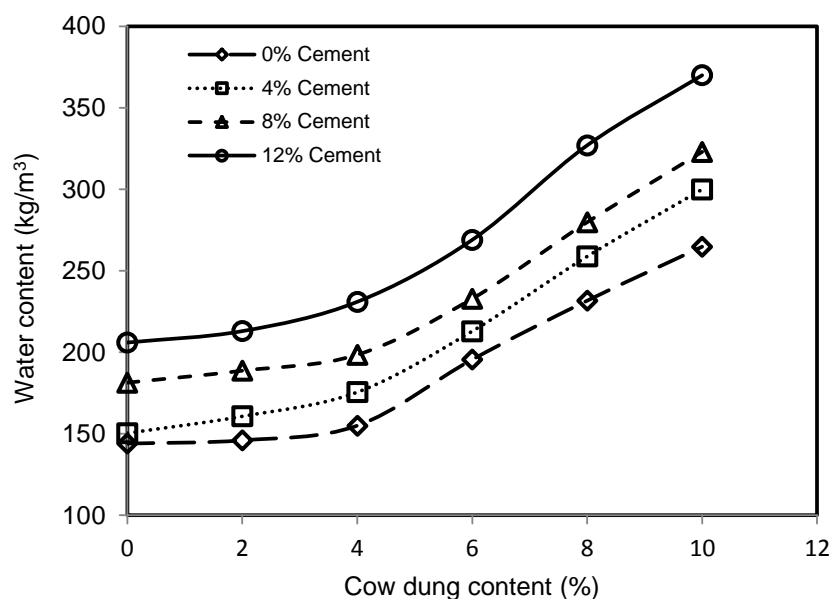


Figure 9- Influence of the cow dung content on the water content of mortars

6.3. Influence of the content in dung of cow on the resistance in compression of mortars

The figure 10 shows the influence of the dung of cow content on the compressive strength of the test tubes of mortar without cement. The cubic and cylindrical test tubes showed the similar tendencies. The lowest compressive strength are obtained on test tubes containing 10 % of dung of cow and the highest values are obtained on test tubes containing between 0 % and 4 % of dung of cow. The compressive strength of the cubic test tubes increased with the incorporation of the dung of cow in a proportion from 0 % to 4 %, beyond 4 %, it systematically decreased. As for the cylindrical test tubes, the compressive strength did not decrease with the incorporation of the dung of cow in a proportion from 0 % to 4 %, beyond 4 %, it systematically decreased.

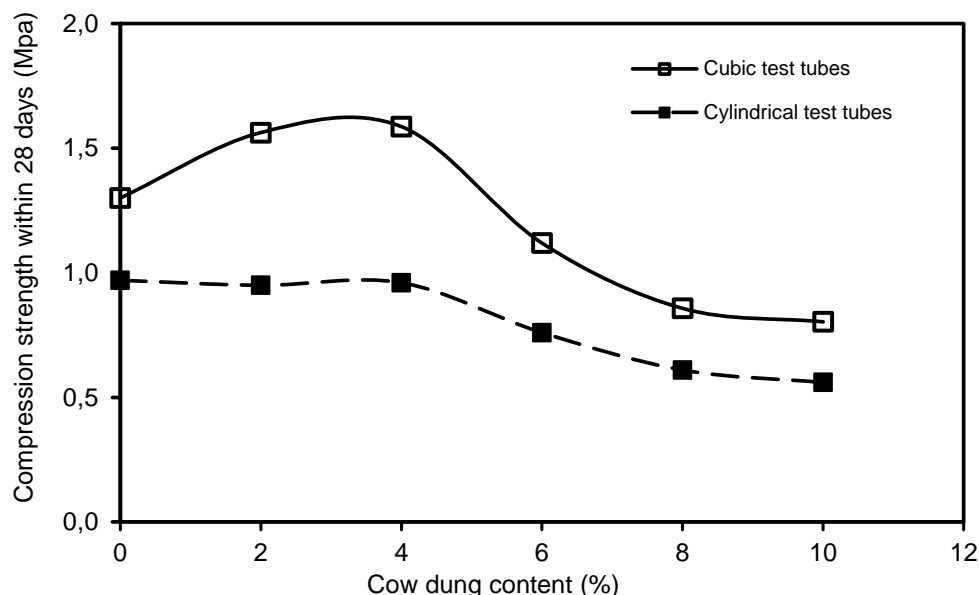


Figure 10- Influence of the cow dung content on the compressive strength of mortars

As thus a result the compressive strength did not decrease with the incorporation of the DOC in a proportion from 0 % to 4 % whatever the type of test tube, beyond 4 %, it systematically de-

creased. So the dung of cow content influences the compressive strength of mortars. In the mortars of bar ground the DOC appears as a vegetable fiber [13]. The interaction of this fiber with the bar ground favors the compaction and the decrease of the voids inside mortars when it is in small quantity, what improves the resistance of the mortar [6, 9]. For considerable proportions, this fiber increases in volume with the presence of the mixing water, what increases considerably the volume of void once the mortar is hardened. The strong presence of void in this type of mortar explains the systematic decrease of the strength of mortars containing more than 4 % of dung of cow and is justified by the substantial decrease of the density of these mortars.

The figure 11 superposes the effect of the cement and the dung of cow on the compressive strength of mortars. The analysis is led as well on test tubes cubic as cylindrical. We notice on this figure that the results obtained from the cubic test tubes indicate that the incorporation of the DOC in a proportion of 4 % produces an increase of strength close to the one due to the effect produced by 4 % of cement. Beyond, the compressive strength increases with the cement content and decreases with the DOC content. The tendency is also similar for the results obtained from the cylindrical test tubes with however, an effect relatively lower.

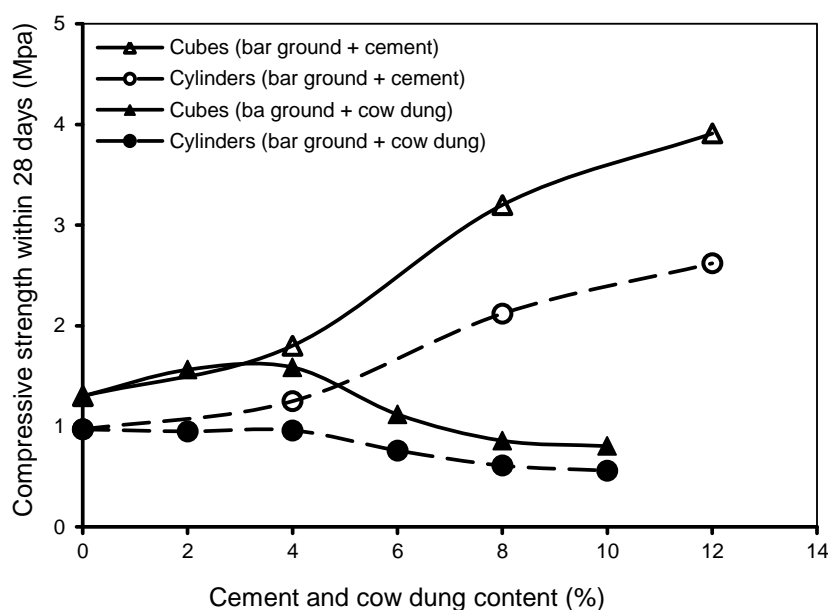


Figure 11- Compared effect of the influence of the cowpat content and of the cement content on the compressive strength of mortars

The figures 12 and 13 show the influence of the dung of cow content on the compressive strength of four ranges of mortar (0 %, 4 %, 8 % and 12 % of cement). The cubic test tubes gave strengths clearly superior to those of the cylindrical test tubes.

The test tubes of mortar of bar ground containing less than 6 % of dung of cow and stabilized in 8 % and 12 % of cement present superior strengths in 3,5MPa for the cubic test tubes and in 2,5MPa. These values of compressive strengths are sufficient for the traditional houses having a light roof with distributed load [5, 15, 16]. The loads of such a structure can be thus well supported by a wall in bar ground building block stabilized in 8 % and 12 % of cement and containing some dung of cow in a proportion not exceeding 4 %.

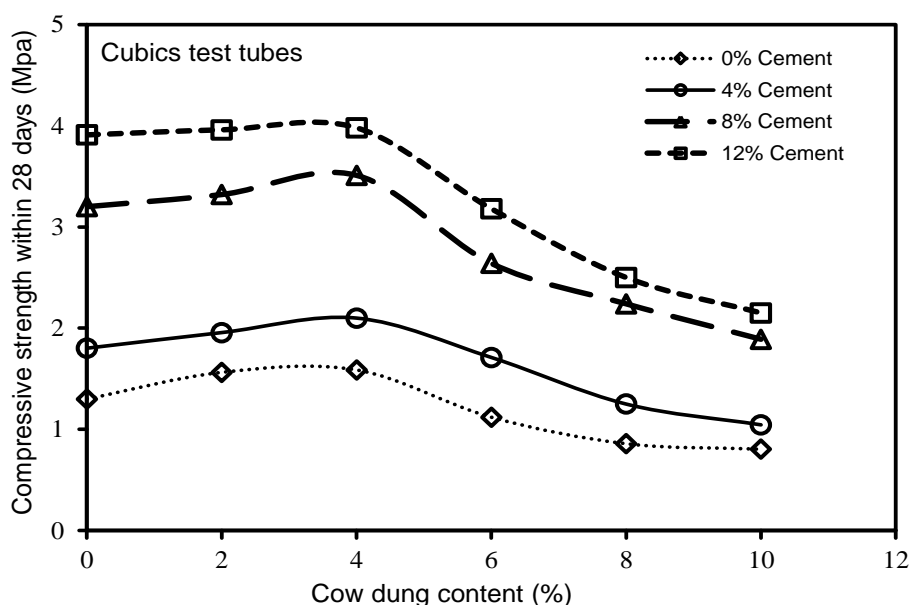


Figure 12- Influence of the cow dung content on the compressive strength of mortars (cubic test tubes)

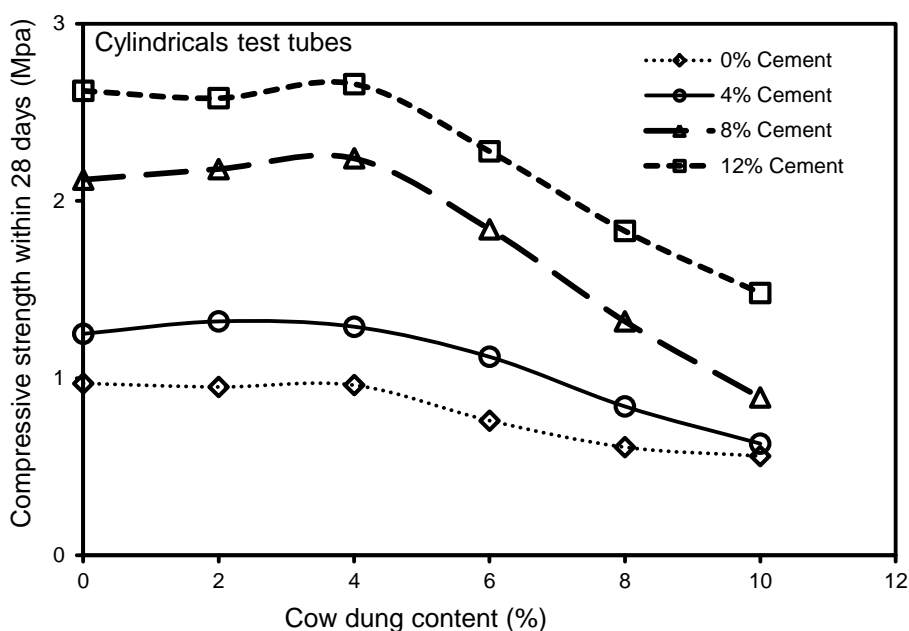


Figure 13- Influence of the cow dung content on the compressive strength of mortars (cylindrical test tubes)

7. Conclusion

The obtained results within the framework of the present study allow to highlight a certain number of main effects of use of the dung of cow in mortars of bar ground.

In a mortar of bar ground compressed and/or stabilized, the bonding of grains is assured by the compressive stresses of the material and the hydration of the cement in presence in the mixture. When it is in small proportion, the presence of the dung of cow facilitates it and improves the effects of compression and of stabilization. This phenomenon explains the increase of the compressive strength noticed when the addition of the dung of cow in a proportion included between 0 to 4 %. The addition of a proportion of dung of cow beyond decreases systematically the compressive strength.

We can conclude that in a mortar of bar ground:

- 1) The addition of a small quantity of sawdust of dung of cow (included between 0 and 4 %) improves the compressive strength of the mortar;
- 2) A strong sawdust of dung of cow content (superior to 4 %) decreases systematically the compressive strength of the mortar;
- 3) The addition of the sawdust of dung of cow increases the water content and decreases the density of the mortar;

REFERENCES

1. Attajkani S., Khamlichi A. (2017) Effet d'un mur de remplissage sur la résistance latérale d'un bâtiment en BA, 13^{ème} Congrès de Mécanique 11 - 14 Avril 2017 (Meknès, MAROC)
2. Azeredo G. (2002) Etude bibliographique et expérimentale sur mortiers de terre. Rapport de DEA, Laboratoire Géomatériaux-Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), 115 pages, Lyon - France, Juillet 2002.
3. Gaye, S., (2001). Caractérisation des propriétés mécaniques, acoustiques, et thermiques de matériaux locaux de construction au Sénégal. Ph.D. Thèse, d'Etat-UCAD de Dakar, Sénégal.
4. Houben H., Guillaud H., (1995), Traité de construction en terre, Éd. Parenthèses, 355 p.
5. Khelifi Hamid, Perrot Arnaud, Lecompte Thibaut et Ausias Gilles (2012), Formulation de matériaux argileux stabilisés pour la fabrication de blocs constructifs extrudés XXX^{ème} Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012
6. Kumar V.S.R.Rayaprolu Pavan, Polu Raju P. (2012) Incorporation of Cow dung Ash to Mortar and Concrete, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 580-58
7. Lemoine Françoise, La bouse de vache : folklore et traditions, thèse vétérinaire, ENVET, 1998.
8. Meukam, P. (2004). Valorisation des briques de terre stabilisée en vue de l'isolation thermique de bâtiments, Thèse à l'Université Yaoundé I. 2004.
9. Milligo, Y., Aubert, J. E., Séré, A. D., Fabbri, A. and Morel, J. C. (2016) Earth blocks stabilized by cow-dung. Materials and Structures, volume 49 (11): 4583–4594
10. Morel [Jean-Claude](#), P'kla [Abalo](#) & Di Benedetto [Hervé](#) (2003) Essai in situ sur blocs de terre comprimée Interprétation en compression ou traction de l'essai de flexion en trois points Revue Française de Génie Civil, Volume 7, 2003 - Issue 2 p. 221-237
11. Peter Paa-Kofi Y, Dorothy M. (2013), Strength and Durability Properties of Cow Dung Stabilised Earth Brick, Civil and Environmental Research, Vol.3, No.13, 2013, ISSN 2224-5790 (Paper) ISSN 2225-0514 (Online), <http://www.iiste.org>.
12. P'kla Abalo (2002) Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (btc) : application aux maçonneries "BTC-mortier de terre" Thèse à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
13. Ranjeth Kumar Reddy A.T., Subba Rao B. T., Padma Suvana C.R. (2014) Effect on Compressive and Flexural Properties of Cow Dung/Glass Fiber Reinforced Polyester Hybrid Composites; Indian Journal of advances in Chemical Science 2 (2), (2014) p. 162-166
14. Schicker, A., Gier, S., (2009). "Optimizing the mechanical strength of adobe bricks", Clays and Clay Minerals, The Clay Minerals Society, Volume 57, Number 4, pp. 494-501 (2009).
15. SOLOMON-AYEH K.A. (1994) Studies of strengths of stabilized laterite blocks and render-ing mortars. Building Research and Information Vol. 22 N°3. 1994.
16. TALLA Armand Pascal (2010) Étude des constructions en briques de terre stabilisée à l'aide des extraits du Parkia Biglobosa, mémoire de master en ingénierie, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE, Ougadougou, Burkina-Fasso.
17. Thej Kumar P., Harshini R. and Bhagavanulu DVS (2015) a study on the replacement of cement in concrete by using cow dung ash International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS) - Volume-1, Issue-9, December 2015, ISSN: 2395-3470, www.ijseas.com
18. Vissac A., Colas E., Fontaine L., Bourges A., Joffroy T., Gandreau D., Anger R., (2012), Protection et conservation du patrimoine architectural en terre par des stabilisants naturels, d'origine animale et végétale. Actes du colloque Sciences des matériaux du patrimoine culturel – 2 • Paris, 20 et 21 novembre 2012 p.135

Ernesto Houehanou

Institut Universitaire de Technologie de Lokossa (IUT-Lokossa), Republic of Benin, Lokossa
Laboratoire des matériaux et Structures (LAMS)
Ph. D., Prof.

Gérard Gbaguidi-Aisse

University of Abomey-Calavi (UAC), Republic of Benin, Cotonou
Laboratoire des matériaux et Structures (LAMS), Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA)

Ph. D., Prof.
E-mail: gbaguidi.gerard@yahoo.fr

Yvette Tankpinou Kiki

Institut Universitaire de Technologie de Lokossa (IUT-Lokossa), Republic of Benin, Lokossa
Laboratoire des matériaux et Structures (LAMS)
Ph. D., Prof.

Armand Djossou

Institut Universitaire de Technologie de Lokossa (IUT-Lokossa), Republic of Benin, Lokossa
Laboratoires de Caractérisation Thermo-physique des Matériaux et d'Appropriation Energétique (CTMAE), Institut
Ph. D., Prof.

Aristide C Houngan

Institut Universitaire de Technologie de Lokossa (IUT-Lokossa), Republic of Benin, Lokossa
Laboratoires de Caractérisation Thermo-physique des Matériaux et d'Appropriation Energétique (CTMAE)
Ph. D., Prof.

Gérard Degan

University of Abomey-Calavi (UAC), Republic of Benin, Cotonou
Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA)
Ph. D., Prof.

ХОЕХАНО Э., ГБАГУИДИ-АИССЕ Ж., ТАНКПИНО КИКИ И.,
ДЖОССО А., ХОНГАН А.К., ДЕГАН Ж.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОРОВЬЕГО НАВОЗА НА ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ СЖАТИИ

Использование местных строительных материалов является неотъемлемой частью практически всех традиционных построек и жилых домов в сельской местности. В значительном числе африканских стран коровий навоз (НК) традиционно является одним из основных материалов в строительстве. Однако научное обоснование использования коровьего навоза (НК) в строительстве практически отсутствует. В данной статье изучено влияние использования коровьего навоза на прочность при сжатии образцов, изготовленных из грунта, смешанного с НК, предназначенных для изготовления блоков из прессованного грунта (БПГ) и/или блоков из стабилизированного грунта (БСГ). Анализ проводится путем сравнения прочности на сжатие эталонных образцов (смесь земли с навозом и смесь земли с навозом с добавлением 4 %, 8% и 12% портландцемента). Результаты испытаний продемонстрировали, что добавление небольшого количества сухого молотого коровьего навоза (менее 6 %) не снижает прочность на сжатие образцов и даже имеет тенденцию к его незначительному упрочнению. При увеличении содержания коровьего навоза свыше 6% прочность образцов снижается.

Ключевые слова: образцы из грунта, стабилизированные образцы, навоз коровы, прочность на сжатие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Attajkani S. Effet d'un mur de remplissage sur la résistance latérale d'un bâtiment en BA [Text] / S. Attajkani, A. Khamlichi // 13^{ème} Congrès de Mécanique 11 - 14 Avril 2017 - Meknès, MAROC, 2017.
2. Azeredo G. Etude bibliographique et expérimentale sur mortiers de terre [Text] / G. Azeredo // Rapport de DEA, Laboratoire Géomatériaux-Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), 115 pages, Lyon - France, Juillet, 2002.
3. Gaye S. Caractérisation des propriétés mécaniques, acoustiques, et thermiques de matériaux locaux de construction au Sénégal. Ph.D. Thèse / S. Gaye. - d'Etat-UCAD de Dakar, Sénégal, 2001.
4. Houben H. Traité de construction en terre [Text] / H. Houben, H. Guillaud. - Éd. Parenthèses, 1995. – 355 p.
5. Khelifi Hamid Formulation de matériaux argileux stabilisés pour la fabrication de blocs constructifs extrudés [Text]/ Khelifi Hamid, Perrot Arnaud, Lecompte Thibaut et AusiasGilles // XXX^{ème} Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012. – Savoie, 2012.

6. Kumar V.S. Incorporation of Cow dung Ash to Mortar and Concrete, [Text] / Kumar V.S., Rayaprolu Pavan, Polu Raju P. // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) . – 2012. – Vol. 2. – Issue 3. – pp. 580-58
7. Lemoine Françoise La bouse de vache : folklore et traditions [Text] Thèse vétérinaire / Lemoine Françoise. – ENVT, 1998.
8. Meukam, P. (2004). Valorisation des briques de terre stabilisée en vue de l'isolation thermique de bâtiments [Text] / P. Meukam. – Thèse à l'Université Yaoundé I., 2004.
9. Milligo, Y. Earth blocks stabilized by cow-dung [Text] / Y. Milligo, J. E. Aubert, A. D. Séré, A. Fabbri, J. C. Morel // Materials and Structures. – 2016. – Volume 49 (11). – pp. 4583–4594
10. Morel [Jean-Claude](#) Essai in situ sur blocs de terre comprimée Interprétation en compression ou traction de l'essai de flexion en trois points [Text] / Morel [Jean-Claude](#), P'kla [Abalo](#) & Di Benedetto [Hervé](#) // Revue Française de Génie Civil. – 2003. – Volume 7 - Issue 2. – pp. 221-237.
11. Peter Paa-Kofi Y Strength and Durability Properties of Cow Dung Stabilised Earth Brick [Electronic resource] / Peter Paa-Kofi Y, M. Dorothy // Civil and Environmental Research. – 2013. – Vol.3. – No.13. – Available on: <http://www.iiste.org>.
12. P'kla Abalo Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (btc) : application aux maçonneries "BTC-mortier de terre" [Text] / P'kla Abalo // Thèse à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. – 2002.
13. Ranjeth Kumar Effect on Compressive and Flexural Properties of Cow Dung/Glass Fiber Reinforced Polyester Hybrid Composites [Text] / Ranjeth Kumar, Reddy A.T., Subba Rao B. T., Padma Suvarna C.R. // Indian Journal of advances in Chemical Science 2014. – No. 2 (2). – pp. 162-166
14. Schicker, A. "Optimizing the mechanical strength of adobe bricks" [Text] / A. Schicker, S. Gier // Clays and Clay Minerals, The Clay Minerals Society. – 2009. – Volume 57. – Number 4. – pp. 494-501.
15. Solomon-Ayeh K.A. Studies of strengths of stabilized laterite blocks and render-ing mortars [Text] / Solomon-Ayeh K.A. // Building Research and Information. – 1994. – Vol. 22 - N°3.
16. Talla Armand Pascal Étude des constructions en briques de terre stabilisée à l'aide des extraits du Parkia Biglobosa, [Text] / Talla Armand Pascal // Mémoire de master en ingénierie, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE, Ougadougou, Burkina-Fasso. – Ougadougou, Burkina-Fasso, 2010.
17. Thej Kumar P. A study on the replacement of cement in concrete by using cow dung ash [Electronic resource] / Thej Kumar P., Harshini R. and Bhagavanulu DVS // International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS) – 2015. – Volume-1. – Issue-9. – Available on: www.ijseas.com
18. Vissac, A. Protection et conservation du patrimoine architectural en terre par des stabilisants naturels, d'origine animale et végétale. / Vissac A., Colas E., Fontaine L., Bourges A., Joffroy T., Gandreau D., Anger R. // Actes du colloque Sciences des matériaux du patrimoine culturel – 2 • Paris, 20 et 21 novembre 2012 – Paris, 2012. – pp.135.

Эрнесто Хоехано

Технологический институт Локоссы, республика Бенин, Локосса
Лаборатория материалов и конструкций
Доктор наук, профессор

Жерар Гбагуйди-Аиссе

Университет Абомеи-Калави, республика Бенин, г. Котону
Лаборатория материалов и конструкций, Лаборатория энергетики и прикладной механики
Доктор наук, профессор
E-mail: gbaguidi.gerard@yahoo.fr

Иветт Танкпино Кики

Технологический институт Локоссы, республика Бенин, г. Локосса
Лаборатория материалов и конструкций
Доктор наук, профессор

Арманд Джоссо

Технологический институт Локоссы, республика Бенин, г. Локосса
Лаборатория термо-физических характеристик материалов и прикладной энергетики
Доктор наук, профессор

Аристид К. Хонган

Технологический институт Локоссы, республика Бенин, г. Локосса
Лаборатория термо-физических характеристик материалов и прикладной энергетики
Доктор наук, профессор

Жерар Деган

Университет Абомеи-Калави, республика Бенин, г. Котону
Лаборатория энергетики и прикладной механики
Доктор наук, профессор

УДК 624.21.09

БОНДАРЕВ Б.А., БОНДАРЕВ А.Б., БОРКОВ П.В.

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрена проблема совершенствования транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций. Отмечено, что показателем состояния элементов конструкций мостовых сооружений является износ, отражающий степень снижения их функциональных качеств. Установлено, что повышение эксплуатационной надежности и транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений целесообразно осуществлять, применяя полимерные композиционные материалы. Однако их применение в строительстве ограничивается из-за сложности прогнозирования напряженно-деформированного состояния во времени при длительном и кратковременном нагружении. Приведены примеры дефектов и повреждений несущих конструкций мостов, выявленных в результате натурных обследований. Описана методика испытаний на выносливость цементобетонных элементов с защитными полимерными покрытиями. Представлены результаты усталостных испытаний цементобетонных элементов с защитными покрытиями на основе модифицированных полимерных композиций, предназначенных для использования в транспортном строительстве. Приведен анализ экспериментальных данных усталостных испытаний. Предложены направления практической реализации результатов исследований.

Ключевые слова: долговечность; выносливость; полимерный композиционный материал.

Транспортно-эксплуатационное состояние мостового сооружения – это состояние отражающее соответствие сооружения своему функциональному назначению по условиям движения (скорости, безопасности и пропускной способности). Проезжую часть моста составляют следующие конструкции: плита проезжей части, система гидроизоляции-водоотвод, деформационные швы, въездные приспособления, дорожная одежда, тротуары и перила, барьеры безопасности, конструкции освещения и контактной сети автотранспорта, приспособления для укладки и сохранности инженерных коммуникаций, конструкции распределения полос движения, дорожные знаки [1, 3].

Показателем состояния элементов конструкций мостовых сооружений является износ, отражающий степень снижения его функциональных качеств. Результаты многочисленных обследований мостов и путепроводов различных схем, систем, конструкций и материалов, убедительно показывают, что наиболее нагруженными, подверженными воздействию многократно повторяющихся, динамических, нагрузок, а также - окружающей среды и солей, являются элементы проезжей части и несущих конструкций (рис.1 и 2).

Долговечность конструкций транспортных сооружений зависит от внешних воздействий различных нагрузок и воздействия окружающей агрессивной среды. Под воздействием указанных факторов реальный срок службы мостовых конструкций значительно сокращается по сравнению с проектным [2-4]. Технические обследования мостов и путепроводов позволили выявить наиболее опасные дефекты и повреждения главных балок пролетных строений и опор. Дефекты элементов конструкций проезжей части мостового сооружения вызваны тем, что уровень напряжений в тонкостенных элементах проезжей части от постоянных нагрузок весьма мал. В результате этого, при прохождении по мосту временных нагрузок, и при неровном покрытии и ударах отдельных колес автомобилей в элементах покрытия, плитах проезжей части возникают пульсирующие однозначные, знакопеременные и ударные режимы нагружения, при которых быстро происходит накопление усталостных повреждений, возникают трещины.

На сегодняшний день широко используемыми эффективными материалами для ремонта и защиты транспортных сооружений являются полимеры, а также различные композиты на

их основе. Повышение эксплуатационной надежности и транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений целесообразно осуществлять применяя полимерные композиционные материалы [5-10]. Однако применение полимерных композиционных материалов в строительстве зачастую ограничивается из-за сложности прогнозирования их напряженно-деформированного состояния во времени при длительном и кратковременном нагружении. Основными показателями долговечности элементов конструкций с защитными покрытиями на основе полимеров являются адгезионная прочность и циклическая долговечность (сопротивление усталости). В Липецком государственном техническом университете были проведены испытания на выносливость цементобетонных элементов с защитными покрытиями.



Рисунок 1 - Замокание ригеля под балками, разрушение защитного слоя бетона, обнажение и коррозия арматуры в путепроводе по ул. Фрунзе в г. Курск



Рисунок 2 - Замокание и разрушение бетона, оголение и коррозия арматуры в главных балках и ригеле моста через реку Сосна в г. Ельце Липецкой области

Для испытания на выносливость были изготовлены призмы размером $4 \times 4 \times 16$ см из бетонной смеси с осадкой конуса 4-6 см и $B/C=0,55$. В качестве заполнителя использовался литой шлаковый щебень Павловского карьера, песок Сенцовского карьера и портландцемент М400. После тепло-влажностной обработки в производственных условиях образцы хранились в лаборатории в нормальных условиях до момента их испытания. Всего было испытано четыре серии по 6 образцов в каждой. При этом первую партию составляли бетонные образцы без покрытия, на другие - было нанесено защитное покрытие толщиной 2, 4, 6 мм по боковым граням. Испытания образцов на выносливость проводились на испытательной машине ИР-5113-100. Частота приложения нагрузки составила 670 циклов в минуту, коэффициент асимметрии цикла был принят равным 0,2. За деформацию ползучести при многократно повторяющихся нагрузках (виброползучести) принимается остаточная деформация, которую получаем путем исключения из полной деформации бетонного образца, развивающейся за время t , упруго-мгновенной в момент наступления и деформации усадки ненагруженного образца-близнеца. Кроме того, деформации виброползучести определяли для образцов из цементобетона с защитным покрытием из модифицированных смол ФАЭИС-30 и композиции группы «Силор – ультра».

Для измерения продольных и поперечных деформаций на призмы с двух противоположных сторон наклеивались тензодатчики сопротивления. Деформации регистрировались по двум противоположным граням; центрирование считалось законченным, если разница в показаниях тензодатчиков не превышала 10%. По окончании центрирования включался пульсатор и на его шкалах устанавливались минимальные и максимальные значения нагрузки с заданными коэффициентами асимметрии цикла. Испытания образцов в каждой серии производились при разных уровнях нагрузки, составляющей определенную долю от разрушающей, при постоянном для всей серии образцов коэффициентом асимметрии цикла. Все образцы доводились до разрушения с фиксацией по счетчику количества циклов приложения нагрузки.

Для установления количественных связей между пределом выносливости и логарифмом числа цикла до разрушения, использовался метод прямолинейной корреляции, который впервые был применен Н.С. Карпухиным для исследования выносливости: железобетона и полимербетона. Необходимым условием использования этого метода является то, что зависимость между напряжениями и числом циклов должна быть для испытательной серии линейной или приведена к линейной путем замены зависимости $\sigma-N$ на $\sigma-\lg N$, а база испытаний должна быть меньше числа циклов N , которому соответствует перелом кривой выносливости, построенных в полулогарифмических координатах $\sigma-\lg N$ [11, 12]. Методами усталостных испытаний получены значения предела усталостной прочности цементобетонных элементов с защитным покрытием при сжатии



Рисунок 3 - Балка пролетного строения после ремонта (мост через р. Липовка по ул. Неделина в г. Липецке)

Проведенный анализ данных усталостных испытаний показал, что полученные величины циклической долговечности элементов с покрытиями из полимерных материалов позволяет применять их в элементах конструкций, воспринимающих многократно приложенные нагрузки. Так же установлено, что защитное покрытие увеличивает предел усталостной прочности цементобетона на 10 %.

Результаты настоящих исследований были использованы при производстве работ по ремонту моста через реку Липовка в г. Липецк по ул. Неделина (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц, Я.Д. Автодорожные мосты (Проезжая часть) [Текст] / Я.Д. Лившиц, Д.Ю. Виноградский, Ю.Д. Руденко. - Киев: Будівельник, 1980. - 160 с.
2. Ушаков, И.И. Основы диагностики строительных конструкций [Текст] / И.И. Ушаков, Б.А. Бондарев Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. - 203 с.
3. ОДН 218.017-2003. Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций / Росавтодор. - М.: Информавтодор, 2004. - 60с.
4. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. / Росавтодор. - М.: Информавтодор, 2002. - 140с.
5. Бобрышев А. И. Прочность и долговечность полимерных композиционных материалов [Текст] / А.И. Бобрышев, В.И. Козомазов. - Липецк. Из-во «Юлис», 2006. - 167 с.
6. Адгезионная прочность и выносливость защитных покрытий из полимерных композиционных материалов в элементах конструкций мостовых сооружений [Текст] / Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Борков П.В., Сапрыкин Р.Ю., Жариков В.А. // Строительные материалы. - 2015. - № 7. - С. 46-51.
7. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов [Текст] / А. Б. Бондарев, П. В. Борков, Б. А. Бондарев, В. А. Жариков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2015. - Вып. 39(58). - С. 17—25.
8. Bondarev, B.A. An outlook on the application of glass-reinforced plastic and polymer concrete components in bridge construction [Text] / B.A. Bondarev, P.V. Borkov, A.B. Bondarev // Procedia Engineering. - 2016. - Т. 150. - pp. 1617-1622.
9. Соломатов, В. И. Технология полимербетонных и армополимербетонных изделий [Текст] / В.И. Соломатов. — М.: Стройиздат, 1984. — 141 с.
10. Соломатов, В.И. Армополимербетон в транспортном строительстве [Текст] / В.И. Соломатов, Л. М. Масеев, Л. Ф. Кочнева и др. Под ред. В. И. Соломатова. - М. Транспорт, 1979. - 232 с.
11. Инструкция по проектированию конструкций зданий и сооружений из армополимербетона. - М.: 1985. - 128с.

12. Карпухин, Н.С. Исследование выносливости железобетона [Текст] / Н.С. Карпухин // Строительные конструкции. – Труды МИИТ. – М.: МИИТ, 1959. – вып.108. – С. 44-54.

Бондарев Борис Александрович

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий

E-mail: lnsp-48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович

Управление дорог и транспорта Липецкой области, г. Липецк

Кандидат технических наук, заместитель начальника управления

E-mail: ialex-86@mail.ru

Борков Павел Валерьевич

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций

E-mail: borkovpv@mail.ru

B.A. BONDAREV, A.B. BONDAREV, P.V. BORKOV

INCREASE OF THE TRANSPORT AND OPERATIONAL STATE OF ELEMENTS OF BRIDGE STRUCTURES

The problem of improvement of transport and operational condition of bridge structures. It is noted that the indicator of the structural elements of bridges is the deterioration, reflecting the degree of decline in their functional qualities. It is found that increasing the operational reliability of the transport and operational condition of bridge constructions is advantageously carried out by applying the polymer composite materials. However, their use in construction is limited due to the complexity of predicting the stress - strain state over time in long-term and short-term loading. Examples of defects and damages of bearing structures of bridges identified in the field surveys. Describes methods of tests of endurance of concrete elements with a protective polymer coating. Presents the results of fatigue tests of concrete elements with protective coatings based on modified polymeric compositions intended for use in transport construction. The analysis of the experimental data of fatigue tests. Directions of practical implementation of research results.

Keywords: longevity; durability; polymer composite material.

REFERENCES

1. Livshits, YA.D. Avtodorozhnyye mosty (Proyezzhaya chast') [Tekst] / YA.D. Livshits, D.YU. Vinogradskiy, YU.D. Rudenko. - Kiyev: Budivel'nik, 1980. - 160 s.
2. Ushakov, I.I. Osnovy diagnostiki stroitel'nykh konstruktсий [Tekst] / I.I. Ushakov, B.A. Bondarev Rostov-na-Donu: Feniks, 2008. - 203 s.
3. ODN 218.017-2003. Rukovodstvo po otsenke transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya mostovykh konstruktсий / Rosavtodor. – М.: Informavtodor, 2004. – 60s.
4. ODN 218.0.006-2002. Pravila diagnostiki i otsenki sostoyaniya avtomobil'nykh dorog./ Rosavtodor. – М.: Informavtodor, 2002. – 140s.
5. Bobryshev A. I. Prochnost' i dolgovechnost' polimernykh kompozitsionnykh materialov [Tekst] / A.I. Bobryshev, V.I. Kozomazov. - Lipetsk. Iz-vo «Yulis», 2006. - 167 s.
6. Adgezionnaya prochnost' i vynoslivost' zashchitnykh pokrytiy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov v elementakh konstruktсий mostovykh sooruzheniy [Tekst] / Bondarev B.A., Bondarev A.B., Borkov P.V., Saprykin R.YU., Zharikov V.A. // Stroitel'nyye materialy. - 2015. - № 7. - S. 46-51.
7. Remont i vosstanovleniye elementov konstruktсий transportnykh sooruzheniy s ispol'zovaniyem polimernykh kompozitsionnykh materialov [Tekst] / A. B. Bondarev, P. V. Borkov, B. A. Bondarev, V. A. Zharikov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. - 2015. - Vyp. 39(58). - S. 17—25.
8. Bondarev, B.A. An outlook on the application of glass-reinforced plastic and polymer concrete components in bridge construction [Text] / B.A. Bondarev, P.V. Borkov, A.B. Bondarev // Procedia Engineering. - 2016. - T. 150. - pp. 1617-1622.
9. Solomatov, V. I. Tekhnologiya polimerbetonov i armopolimerbetonnykh izdeliy [Tekst] / V.I. So-lomatov. — М.: Stroyizdat, 1984. — 141 s.

10. Solomatov, V.I. Armopolimerbeton v transportnom stroitel'stve [Tekst] / V.I. Solomatov, L. M. Maseyev, L. F. Kochneva i dr. Pod red. V. I. Solomatova. – M. Transport, 1979. – 232 с.
11. Instruktsiya po proyektirovaniyu konstruktivnykh zdaniy i sooruzheniy iz armopolimerbetona. - M.: 1985. – 128s.
12. Karpukhin, N.S. Issledovaniye vynoslivosti zhelezobetona [Tekst] / N.S. Karpukhin // Stroitel'nyye konstruktii. – Trudy MIIT. – M.: MIIT, 1959. – vyp.108. – S. 44-54.

B.A. Bondarev

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Doctor of Technical Science, Professor of the Construction Materials and Road Technologies

E-mail: lnsp-48@mail.ru

A.B. Bondarev

Department of roads and transport of Lipetsk region, Lipetsk

Candidate of Technical Science, Deputy Head of the Department

E-mail: ialex-86@mail.ru

P.V. Borkov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Candidate of Technical Science, Associated Prof. of the Metal Structures Department

E-mail: borkovpv@mail.ru

ПОВЕСТВОВАНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ: ЭВОЛЮЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕМОРИАЛЬНО-МУЗЕЙНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассматриваются история возникновения и этапы развития в России уникального типа архитектурного сооружения – мемориально-музейного комплекса. Это сложный объект, как правило, объединяет мемориалы, памятники, музеи и парки в целостные ансамбли. Мемориальная архитектура – один из важнейших базисов духовной самоидентификации любого общества и типа государственной системы. Её главной целевой задачей является укрепление самосознания того или иного этноса или их союза средствами архитектурно-пространственного и художественного воздействия, в которых главные – образ и символ.

Несмотря на некоторые черты сходства с зарубежными аналогами, отечественная практика создания мемориально-музейных комплексов имеет ряд своеобразных особенностей и отличий, которые ранее комплексно в профессиональной прессе не изучались. Автор выделяет в этом историческом процессе четыре периода, которые рассматриваются в двух частях статьи. Анализируются их истоки, факторы влияния, рассматриваются главные представители.

Ключевые слова: памятники культуры и истории, памятные и мемориальные ландшафты, мотивация и условия создания мемориальных пространств, архитектура, ландшафт, художественные практики.

Периоды советской мемориально-музейной архитектуры (часть 2)

Вторая мировая война явилась испытанием для многих областей культуры, и искусства, которые только осваивали метод «соцреализма» и его монументальные формы.

Накануне войны были проведены два тура конкурса на проект здания «Штурм перекопа» в Москве, в котором участвовали Г.Гольц, А.Никольский, В.Гельфрейх, А.Буров (рис.1).

«Конкурсные проекты панорамы задали образный настрой на монументальные мемориальные сооружения, которые оказались востребованными буквально через год-полтора, когда началось массовое конкурсное и экспериментальное проектирование мемориальных сооружений (к победе в ВОВ)» [1].

Последние годы войны отмечены расцветом «соцреализма», который приобретает мемориальную объёмную монументальность. Академия, архитектурный союз, и их ведущие представители демонстрируют искренний творческий подъём в связи с приближающейся победой над Германией. Все известные советские художники, скульпторы и архитекторы разрабатывают эскизы и проекты мавзолеев, пантеонов и мемориалов. Доминируют гигантские масштабы, пафосные пространственные жесты и метафоры, активный декор и детализация. В Академии архитектуры под руководством А.Габричевского с 1943 года начинается работа над фундаментальной монографией «Мемориальная архитектура». В

работе принимают участие известные советские историки и теоретики архитектуры В.Блаватский, В.Маркузон, П.Максимов и др.

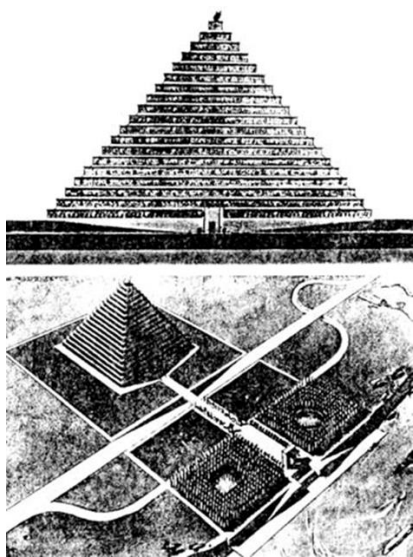


Рисунок 1 – Проект «Храма славы Сталинградской эпопеи», А.Буров, проект 1943 г.

С наступлением мира от Волги до Берлина и Вены возводятся сначала скромные, позже всё более грандиозные памятники, монументы и мемориальные комплексы. Над их созданием трудятся лучшие отечественные скульпторы, художники, архитекторы и инженеры. Их общими усилиями советский воинский мемориал был доведён до типологического совершенства, а в социальном сознании сложился устойчивый образ-стереотип, патетический и монументальный.

В Берлине начиная с 1945 года создаются «Мемориал павшим советским воинам» в Тиргартене (скульпторы Л.Е.Кербель, В.Е.Цигаль, архитектор Н.Е.Сергиевский), «Советский военный мемориал» в Панкове, 1949 г. (скульптор И.Г.Першудчев, архитектор К.А.Соловьёв и кол.), и самый грандиозный из них - мемориал «Памятник Воину-освободителю» в Трептов-парке (скульптор Е.В.Вучетич, архитектор Я.Б.Белополюский.) (рис.2). Также в победном 1945 году был открыт в Вене «Памятник героям Советской армии» (Скульптор М.А.Интезарьн, архитектор С.Г.Яковлев). В конце 40-х возникают «Мавзолей советских воинов» в Варшаве, «Памятник советским танкистам» в Праге, несколько позже - «Памятник советской армии» в Софии. Их описанию, искусствоведческим исследованиям посвящено много книг и изданий.

К этому же времени относится такой значительный этап отечественной истории архитектуры, как восстановление разрушенных городов и строительство новых инженерных сооружений. Волгоград, Севастополь, Воронеж, Минск и другие основательно разрушенные города проектировались как мемориалы победе. «Архитектура сооружений (Волжско-Донского) канала увековечила мемориальную военно-историческую тематику: сооружения тринадцати шлюзов и других построек системы канала были выполнены в стилистике ордерной архитектуры и украшены монументальной скульптурой, утверждающей триумфальный характер сооружений, расположенных на местах Великой Отечественной войны 1941-1945 гг.» [2].

Это первая, послевоенная, волна создания советских мемориалов явно представляет собой цельное культурное явление. Его отличали качественная архитектурная и конструкторская работа, традиционный художественный язык, внимание к пластике и детали. Система мемориальных комплексов, сооружённых в столицах послевоенной восточной Европы, являлась не только своего рода памятным «посланием» (знаком-вымпелом) победы, но в первую очередь была призвана произвести идеологическую маркировку освобождённой от фашистов территории. Это было фактически началом культурного экспорта (если не экспансии) соцреализма. Художественный язык этих объектов рекомендовался в качестве эталона новой эстетики, привносимой и рекомендуемой для применения в новом искусстве Восточной Европы. Если до конца двадцатых годов архитектура СССР была в лидерах общеевропейской художественной культуры, то в конце сороковых практика «соцреализма» расторгла всякую общность с окружающим миром.

Традиция реалистического повествовательного (нарративного) отображения присутствовали в мировом монументальном искусстве того времени. Но она не доминировала там, а лишь сосуществовала с другими направлениями и языками художественно-изобразительного



Рисунок 2 - «Советский военный мемориал», Панков-Берлин, 1949 г.

искусства (абстрактными, наивно-примитивными, экспрессивными и др.). В СССР соцреализм не имел конкурентов.

После бедствий прошедшей войны и испытаний послевоенного времени мир Восточной Европы преобразовывался. Появление качественной монументальной архитектуры в разорённых войной восточно-европейских городах не только напоминал о новой власти, но и демонстрировал её силу в новых культурных пространствах.

С советских восточноевропейских мемориалов первого послевоенного десятилетия, начинается история отечественных мемориально-музейных комплексов (ММК) нового времени. Почти полувековая пауза в эволюции российской мемориальной архитектуры, продлившаяся с начала двадцатого века до его середины, завершилась становлением нового архитектурно-художественного явления, рождённого коммунистической идеологией и классицистической трактовкой архитектурного пространства и формы.

Кратко этот этап эволюции отечественного мемориального строительства можно охарактеризовать как «триумфально-победный», выражающий пафосные и патетические настроения победившей страны, призванные возбуждать у побеждённой стороны преклонение, чувства вины и смирения (раскаяния).

Планировочные решения геометрически симметричны и прямолинейны, что способствует облегчению визуального восприятия, легкому усвоению идеологически выверенного содержания.

Выразительность достигается паритетом архитектурных и художественных начал. Скульптурные объёмы сбалансированы с объёмами подиумов, постаментов, подпорных стен и лестниц. Архитектурные компоненты отличаются «героическим» масштабом, скупыми членениями, применением рустованных каменных плоскостей и поверхностей. Художественный язык скульптурных включений лишён сложных метафор и аллегорий. Все фигуры, воинская атрибутика и геральдика выполнена в меру реалистично и обобщённо, без сложной символики и без использования условных приёмов изображения.

Основной арсенал архитектурных форм универсален для всех рассматриваемых ансамблей: обелиски, колоннады, стелы, триумфальные колонны с венчающей фигурой советского солдата, который изображается обязательно с одним или двумя атрибутами (меч, щит, знамя, автомат). Доминанту окружает пространственное обрамление: барельефы групповых батальных сцен, декоративные орнаменты, girлянды, знамёна и лавровые венки.

Но главным средством воздействия на зрителя, средством трансляции содержательного послания становится скульптурная композиция. Тем более, что она в состоянии не только пересказать сюжет, но и передать его в динамике.

Скульптурные памятники и монументы являются обязательными компонентами мемориалов этого периода. Их можно условно подразделять на «объекты состояния» (пассивно стоящие, сидящие, лежащие и полу-лежащие и др.) и «объекты действия» (бегущие, бросающие, марширующие и др.).

В первой группе преобладает внутренняя напряжённость при внешней статичности, во второй - внутренняя динамика образа находит своё выражение в виде характерных движений, жестов. Сам характер этих жестов часто демонстрирует застывшее или продолжающееся движение. Динамичными и выразительными движениями полны и многие зарубежные военные «повествовательные» ММК 30-50-х годов XX-го века, изображающие сцены из сражений и жанровые бытовые сцены.

Повествовательной манере изложения присуща многословность и театральность. Дальнейшее развитие этого сценического и театрального принципа привело к появлению многофигурных мемориальных композиций, построенных, условно говоря, по «хоровому» принципу. Здесь, как в хоровой капелле, каждая фигура композиции исполняет свою «партию», очерченную общим замыслом. Жестикаляция и позы у каждой стоящей, бегущей, сидящей или падающей фигуры индивидуальны, но соотнесены друг с другом. «Хоровые» памятники и монументы особенно продуктивно выражали ощущение коллективного энтузиазма, массового по-

двига и героизма, широко востребованных в послевоенные времена в периоды авторитарных правлений.

Многофигурные композиции в «повествовательных» ММК успешно решают и задачу выражения протяжённости и разновременности события. Это достигается включением в скульптурное изображение не только явных временных отличий в аксессуарах и одежде героев, но и предметной атрибутики, бытовых и технических деталей, фрагментов интерьера и дизайна, олицетворяющих принадлежность времени и месту. Постепенное разглядывание таких композиций фактически превращается в зрелище. Если фигуры расположены вблизи зрителя, например, на низком плинте, возникает ощущение соучастия в действии, тем более, если зритель имеет возможность перемещаться, переходить от одной фигуры к другой. При этом появляется чувство сопричастности к особой реальности, погружение в процесс, включение в изображаемые события, происходящие в инсценированном пространстве.

Политические трансформации в советском обществе, начавшиеся в середине 50-х годов, инициировали стилистические смещения в культуре и искусстве. Критика «культы личности» получила логичное развитие в отрицании наиболее одиозных форм соцреализма в архитектуре и изобразительном искусстве. 4 ноября 1955 года с правительственно-партийного постановления «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» началась борьба с неоклассикой. Было ограничено и сведено к минимуму использование бронзы, мрамора и гранита при создании памятников и декоративных орнаментов, реформированы производственные комбинаты по изготовлению художественных элементов архитектурного и монументального убранства [3].

Кампания «отказа от излишеств» являлась в свою очередь одним из следствий процесса идейно-нравственных, социальных, мировоззренческих и социально-психологических изменений, произошедших в советском обществе в послевоенные годы. Процессы относительной демократизации общественной жизни, развитие техники и науки, рост исторического самосознания людей, общий рост культуры, оказались тесно взаимосвязаны. Присутствовал здесь и чисто практический мотив – создать возможности для широкого применения типизации в строительстве [4].

Раскритикованное и неактуальное в 30-ые годы авангардное искусство обрело шансы на возрождение и продолжение. Послевоенное искусство и архитектура окружающего мира испытывало явную тягу к модернизму.

После двух десятилетий увлечения неоклассическими мотивами в России, в СССР проявился опять интерес к современной форме и демократическим, свободным от декоративности и орнаментальности, пространственным решениям. Уже с середины 50-х в Европе и США в архитектуре отчётливо доминирует движение, связанное с решительным обновлением архитектурного языка, форм и конструкций, рождением новых архитектурных стилей (брутализм, органическая архитектура и др.) [5].

Новая эстетика отныне приходит и в СССР. Внимание власти переключается с воспитания соседей из Восточной Европы на воспитание сограждан. Мемориально-музейные комплексы начинают возводиться на территории страны к юбилейным датам победы в ВОВ, и в память о новых героях. Постепенно это явление принимает лавинообразный характер.

Этот феномен сходен по своей природе с тем, что происходило в Европе столетие назад и привело к появлению первых мемориально-музейных комплексов. Становления европейских наций после победы над Наполеоном во многом аналогичны отечественным послевоенным процессам, когда в результате победы над гитлеровской Германией формируется «новая общность – советский народ» [6]. Новая нация нуждается в новых памятниках, объектах поклонения и местах проведения новых ритуалов. Появление в отечественной архитектуре множества мемориальных ансамблей воинской славы и посвящённых отвлечённым морально-этическим категориям (труду, славы, родине, юбилею и др.) относится именно к этому временному периоду. Так начинается редко встречающееся в истории архитектуры явление - «зо-

лотой век» создания некоего рода общественных сооружений. В данном случае мемориально-музейных комплексов в пространстве всего СССР.

Самый значительный из них – мемориал на Мамаевом кургане памятник-ансамбль «Героям Сталинградской битвы» в Волгограде с монументом «Родина-мать зовёт!». Создание основной части грандиозного комплекса продолжалось с 1959 по 1967 год. По всем своим характеристикам (площади, высоты главного монумента, количеству композиций) он превосходит все другие отечественные аналоги. Почти полувековая продолжительность строительства (последние строительные дополнения – установка главного купола и завершение строительства храма Всех Святых завершены в 2005г.), хорошо иллюстрирует эволюцию отечественных подходов к созданию ММК в целом, и в частности – в 50-60-е годы двадцатого века.

Показателен пространственный приём, заимствованный из древней истории архитектуры – входная анфилада скульптурных компонентов – главных композиционных доминант мемориала, выполненных Е.В.Вутетичем. Наиболее значительные из них: входная композиция «Память поколений», монумент-скала на площади «Стоявших насмерть» с фигурой обороняющегося солдата с гранатой, факел – Вечный огонь в Пантеоне славы, скульптура «Скорбящей матери», и главная визуальная вертикаль комплекса 85-ти метровая статуя «Родина-мать зовёт».

По сравнению с восточноевропейскими мемориалами, выполненными в Восточной Европе в риторике «триумфа и победы», памятники и монументы Мамаева кургана выглядят более драматично, более трагично и брутально.

В это время возникают такие приёмы, как «фрагмент» или «крупный план». Появляется «фрагментарность», когда воспроизводятся лишь фрагмент тела (рука, голова, лицо). Практика хорошо известная из истории искусств, но свойственная больше камерной скульптурной пластике, наделённой большей эмоциональностью, чем монументальная скульптура. Это свидетельство возрастающего интереса к психологии восприятия, психологизации искусства. Создатели отечественных монументальных памятников и мемориалов привлекают внимание зрителя к внутреннему миру гипотетического героя, его переживаниям и эмоциям. Фрагментарность требует домысливания и представляется поэтому наиболее логичным средством достижения новых целей. Решения аналогичные Мамаеву кургану («факел в руке» – вечный огонь в Пантеоне славы) появляются во множестве отечественных мемориальных ансамблей 60-х годов.

Одновременно обозначили тенденцию отхода от детали к массе обращения к обобщению формы, её сжатию в выразительный компактный «сгусток», отход от длинного повествования, и, в конце концов – движению к архитектурному языку.

Произведения отечественной мемориальной архитектуры 60-х годов разительно отличаются (от предыдущих) именно обращением к архитектурно-символическим средствам выражения, переходу от повествовательного, старого, академического языка передачи информации к знаковому и метафорическому.

Новая парадигма требовала смены отношения к созданию мемориально-музейных комплексов. «Триумфально-победная» тема отчасти исчерпала себя, нужны были новые патристические темы и интонации.

Многочисленные проекты новых памятников и монументальных комплексов обретали теперь иные предназначения – быть проводниками государственной идеологии. В эту трактовку идеально вписывались монументальные геометрические очертания, наполненные модернистскими архитектурными формами. Они эффектно, на символическом и семантическом уровнях, передавали смыслы мемориальных пространств. Скульптурные композиции стали постепенно упрощаться, трансформироваться в скальные и геопластические образования. Часто их вытесняли настенные рельефы и тексты.

Скупые в художественном отношении и простые в планировке, но выразительные за счет применения пространственных эффектов (сбой масштаба, чередования света и тени и др.), эти отечественные мемориалы 60-х годов стали появляться во всех крупных городах

страны. «Курган Славы» в Минске (1966г.), «Курган бессмертия» в Брянске (1967г.), «Холм Славы» в Ялте (1967г.) – наиболее характерные представители этого времени, который условно можно было бы назвать «символическим» периодом истории отечественных ММК (рис.3).



Рисунок 3 – «Холм славы» в г.Ялта, 1967 г

Возможно самым ярким достижением этого периода, демонстрирующим его образные и планировочные черты, является шедевр советского модернизма 60-х годов мемориал Егерн (жертвам геноцида армян в Османской империи 1915 г.) в Армении (рис.4). Появлению этого комплекса в 1965 году предшествовал конкурс. Архитекторы предложили почти супрематическую пространственную композицию. «Важным элементом является огромная плита – своеобразный объединяющий элемент всей композиции. Плита увеличила масштаб комплекса, сделала его части соразмерными. В частности, это касается вертикали 40-метрового шпиля и горизонтали более чем 100-метровой стены. В результате вся композиция получила динамическую направленность. Каждый её элемент выражал ясно прочитываемую пространственную функцию: обозначающее движение вперёд стена, спуск вниз и концентрирующее движение по кругу, возвращение на плоскость, движение к обелиску, ощущение устремлённости вверх» [7].

Несмотря на ограниченность круга приведённых примеров мемориально-музейных комплексов, их принципиальный, системообразующий характер даёт основания делать выводы и обобщения. В первую очередь можно констатировать, что несмотря на некоторые черты сходства с зарубежными аналогами, отечественная практика имеет ряд особенностей и отличий.

Если на первом этапе «формирования» российские и зарубежные объекты имели общие очертания, то второй этап мемориально-музейной архитектуры в России фактически отсутствовал. Его заменил процесс реализации «плана монументальной пропаганды», в котором сам вид мемориально-музейных зданий востребован не был. Тем не менее, второй этап рассматриваемой эволюции можно, вероятно, обозначить термином, заимствованным из традиционной истории советской архитектуры, т.е. «периодом становления советского монументализма».



Рисунок 4 – Мемориал Егерн, Армения, 1967 г.

Появившиеся в результате реализации «плана монументальной пропаганды» освоение архитектурных и художественных практик, открытия в области монументального искусства, повлияли на формирование ММК, принадлежащих «триумфально-победному» этапу - третьему, наиболее продуктивному, с точки зрения автора.

Четвертый этап, самый результативный по практике условно назван автором «символическим». Здесь создание мемориально-музейных комплексов шло, хотя и кратковременно, в русле мировых, точнее, европейских тенденций.

Таким образом, до конца 60-х годов в эволюции отечественных мемориально-музейных комплексов можно, гипотетически выделить четыре этапа:

- первый – этап «становления» (мемориал – как знак рождения и единства нации),
- второй – этап «монументальной пропаганды» (мемориал – как поисковый процесс),
- третий – этап «триумфально-победный» (мемориал – как плакат-вымпел),
- четвёртый – этап «символический» (мемориал – как знак и метафора).

После 60-х отечественные мемориально-музейные комплексы продолжали проектироваться и строиться, причём не только по стране, но и в странах «третьего мира» (мемориалы дружбы и сотрудничества в Индии, Египте и др.) Они соответствовали духу времени, вбирали в себя происходящие в мире изменения, становились более плакатными и свободными, менее одиозными и пафосными, хотя и не лишены от повествовательности.

«После-хрущевское» время и наступление т.н. «застоя» оказались отмеченными определённой деградацией рассматриваемого жанра. Вновь происходит возвращение к пафосности и патетике, питающимися новой тематикой - утрированными мотивами скорби, трагедизма и жертвенности (мемориал Брестская крепость, 28 панфиловцев, Хатынь и др.). Некоторые комплексы этого времени отличаются особой перегруженностью образами и эмблематикой, отсылая тем самым к практикам кича, например, «Мемориал Победы в Саранске – Мать-Мордовия вручает меч сыну-солдату». Логическим завершением советских этапов эволюции отечественного ММК, вероятно, можно считать мемориальный комплекс Парк победы на Поклонной горе в Москве. Несмотря на то, что его открытие состоялось уже в пост-советское время, он вобрал в себя все характерные черты двух последних периодов советского ММК («победно-триумфального» и «символического»).

Новые времена России отмечены новым отношением к истории, памяти и их выражению в пространстве. Вопросы понимания искусства, культуры ставятся по-другому, по возможности объективно и открыто. К памятникам предъявляются новые требования: простота, искренность и демократичность. Пост-советскому периоду рассматриваемого процесса пока трудно дать определение, хотя ряд выразительных мемориально-музейных комплексов нового поколения уже созданы. Этот период ждёт отдельного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан-Магомедов С.О. Андрей Буров. Творцы авангарда [Текст] / С.О.Хан-Магомедов. М.: Фонд «Русский авангард», 2009. - С. 224.
2. Есаулов Г. «Сталинский ампи́р» на Юге России. Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления [Текст] / Г.Есаулов. - М.: РААСН, НИИТИАГ, URSS, 2010. - С.191.
3. Воронов Н.В. Советская монументальная скульптура 1960 - 1980 [Текст] / Н.В.Воронов. - М.: Искусство, 1984. - 224с.
4. Казакова О.В. «Борьба с излишествами» в 1930-1950-е годы. Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления [Текст] / О.В.Казакова. - М.: РААСН, НИИТИАГ, URSS Москва. - 2010. - С.40.
5. Полевой В.М. Двадцатый век. Изобразительное искусство и архитектура стран народов и мира [Текст] / В.М.Полевой. - М.: Советский художник, 1989. С. 421.
6. Бакштейн И.М. Внутри картины: Статьи и диалоги о современном искусстве [Текст] / И.М.Бакштейн. - М.: Новое литературное обозрение. - 2015. - С.464 с.
7. Бальян К. Мемориал Эгерн [Текст] / К. Бальян. - Екатеринбург.: Татлин, 2016. - С.38.

Хомяков Александр Иванович

Московский архитектурный институт (государственная академия), г. Москва

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура общественных зданий».

E-mail: a.khomyakov@mail.ru

A.I. KHOMYAKOV

NARRATION IN SPACE: THE EVOLUTION OF NATIVE MEMORIAL AND MUSEUM COMPLEX

The article discusses the history and stages of development in Russia of a unique type of architectural structure – Memorial-Museum complex. This is a complex object, that usually integrates the memorials, monuments, museums and parks into coherent ensembles. Memorial architecture is one of the most important basis of the spiritual identity of every society and type of governmental system. Its main target is to strengthen the identity of a particular ethnic group or their Union by means of architectural, spatial and artistic influence, in which the main are image and symbol.

Despite some similarities with foreign counterparts, the domestic practice of creation of the Memorial and Museum complex has several unique features and differences, which has not been studied before comprehensively in the professional press. The author highlights in this historical process four periods, which are discussed in two parts of the article. Their origins and impact factors are analyzed and the main representatives are considered.

Key words: *monuments of culture and history, commemorative and memorial landscapes, motivation and conditions for the creation of memorial spaces, architecture, landscape, artistic practice.*

REFERENCES

1. Han-Magomedov S.O. Andrey Burov. Tvorzui avangarda [Текст] / S.O.Han-Magomedov. - М.: Fond «Russkiy avangard», 2009. - S. 224.
2. Esaulov G. «Stalinskiy ampir» na Yge. / Arhitektura stalinskoy epohi. Opuit istoricheskogo osmuislenia. Sbornik statey. [Текст] / G.Esaulov. - М.: RAASN, NIITIAG, URSS, 2010. - S.191.
3. Voronov N.V. Sovetskaia monumentalnaia skulptura 1960 - 1980 [Текст] /N.V.Voronov. - М.: Iskusstvo, 1984. - 224s.
4. Kazakova O.V. «Borba s izlishestvami» v 1930-1950-e godui / Arhitektura stalinskoy epohi. Opuit istoricheskogo osmuisleniia. [Текст] / O.V.Kazakova - М.: RAASN, NIITIAG, URSS, 2010. - S.40.
5. Polevoy V.M. Dvadzatuuy vek. Izobrazitelnoe iskusstvo I arhitektura stran I harodov mira [Текст] /V.M. Polevoy. – М.: Sovetskiy hudoznik, 1989. - S. 421.
6. Bakshtein I.M. Vnutri kartinui: Statii I dialogi o sovremennom iskusstve [Текст] / I.M.Bakshtein. - М.: Novoe literaturnoe obozrenieH, 2015. - 464 s.
7. Balian K. Memorial Egern [Текст] / K. Balian. - Ekaterinburg.: Tarlin, 2016. - S.38.

A.I. Khomyakov

Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow

Candidate of architecture, professor of "Architecture of public buildings."

УДК 691.539.216

БЕЛОВ В.В., КУЛЯЕВ П.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗЕРНОВЫХ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Процесс получения высокоэффективных строительных материалов ставит перед исследователями ряд задач, в числе которых разработка составов, рецептур, технологических режимов и многие другие. Математические модели позволяют достаточно полно описать структуру композитного материала, учитывая закономерный характер распределения структурных элементов в объеме материала, что обосновывает подход к его изучению с позиций теорий размерности и топологических пространств.

В работе рассмотрены и обобщены основные закономерности формирования оптимальной зерновой структуры строительных композиционных материалов на цементной основе с минеральными наполнителями. Предложен комплексный способ математической реконструкции зерновой структуры и расчета оптимальных составов сырьевых смесей, позволяющий варьировать широкий спектр параметров и оценивать производные свойства дисперсных систем, а также подбирать оптимальные гранулометрические составы смесей.

Ключевые слова: дисперсная система, структурообразование, пространственная структура, структурная топология, оптимальная гранулометрия, плотная упаковка, математическая реконструкция, модель.

Композиционный строительный материал является средой с очень специфическими свойствами, где доминирует случайность форм и размеров частиц, физико-механических свойств и условия взаимодействия частиц друг с другом, которые вдобавок зависят от влажности материала. [1]. Формирование структуры дисперсных систем во многом обуславливает свойства композиционных материалов, получаемых на их основе. Прочность пространственной структуры дисперсной системы и ее устойчивость, характер поведения при течении, скорость разрушения и восстановления структуры непосредственно связаны друг с другом [2].

Вопросы оптимизации составов дисперсных систем широко рассматриваются многими исследователями в области строительного материаловедения [2, 3, 4 и др.]. Проявление физических явлений уплотнения (заполнения пустот) и раздвижки одних минеральных материалов другими с меньшими размерами зерен и их количественная оценка обеспечивают не только заполнение единицы объема монолитным веществом или материалом, но и формирование оптимальной макроструктуры минеральной части сыпучих смесей [5].

Существуют различные методики достижения оптимальных составов бетона и строительных смесей. Большинство методик базируются на аппроксимации зерновой структуры – представлении её системой твердых сфер и математическом расчете гранулометрического состава [6, 7 и др.].

При описании способов проектирования оптимальных упаковок рассматривается сложное комбинирование всех типов схем упаковок в соответствии с физико-химическим взаимодействием компонентов в матрице композита. Данные структуры – контактная, законтактная и порфиновая. В структурном представлении комбинация реализуется в зависимости от отношения объема вяжущего $V_{\text{вяж}}$ к объему наполнителя $V_{\text{нап}}$, и в соподчиненности с тремя схемами эффективной топологии, где ведущая роль принадлежит взаимовлиянию гранул, при ко-

тором гранулы большего размера раздвигаются при уплотнении гранулами меньшего диаметра, тем самым создавая поле гранулярно-контактного взаимодействия (рисунок 1).

Для подбора состава фракций строятся графики зависимости эффективных коэффициентов от расходов фракций. Графики (рисунки 2, 3) увязывают эти коэффициенты для фракции $\pi/5$ мм при проектировании оптимальной упаковки бинарной смеси (строятся по матрице, указанной выше).

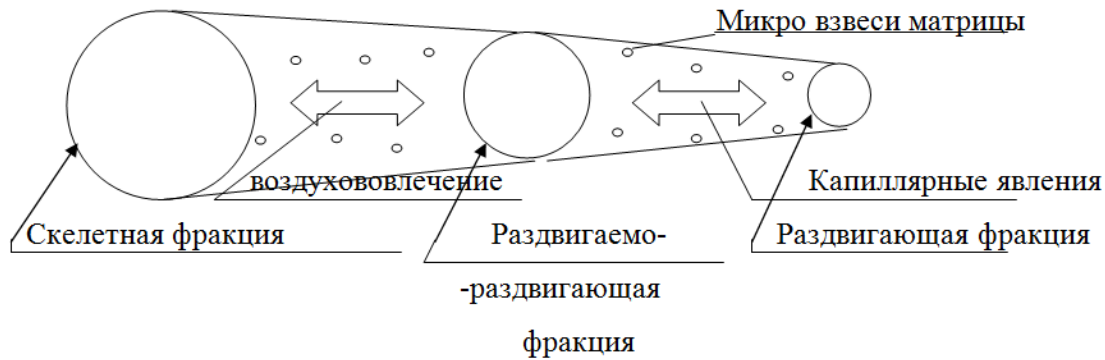


Рисунок 1 – Схема внутренних процессов при взаимодействии гранул

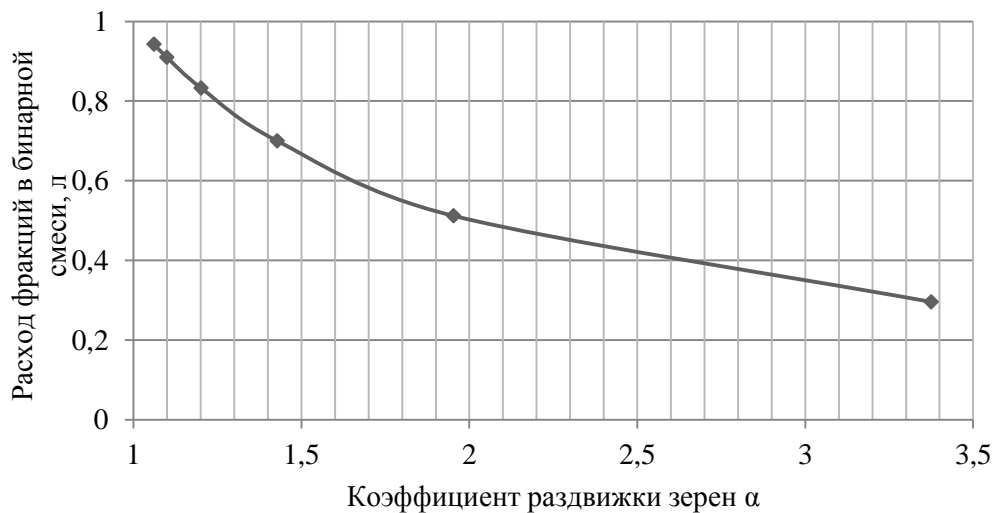


Рисунок 2 – Зависимость расхода фракции 5 мм от коэффициента раздвижки α

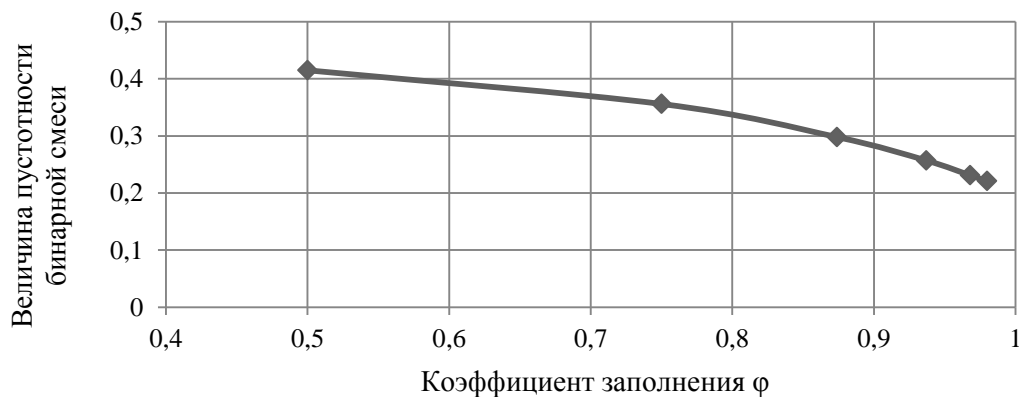


Рисунок 3 – Зависимость величины пустотности от коэффициента заполнения ϕ фракции V_1 фракцией V_2

Схема (рисунок 4) относится к классификации сыпучей части композита в эффективной топологии, учитывающей взаимодействие и взаимное влияние между частицами. Стрелки между двумя триадами отображают корреляционное соответствие данных топологических структур.

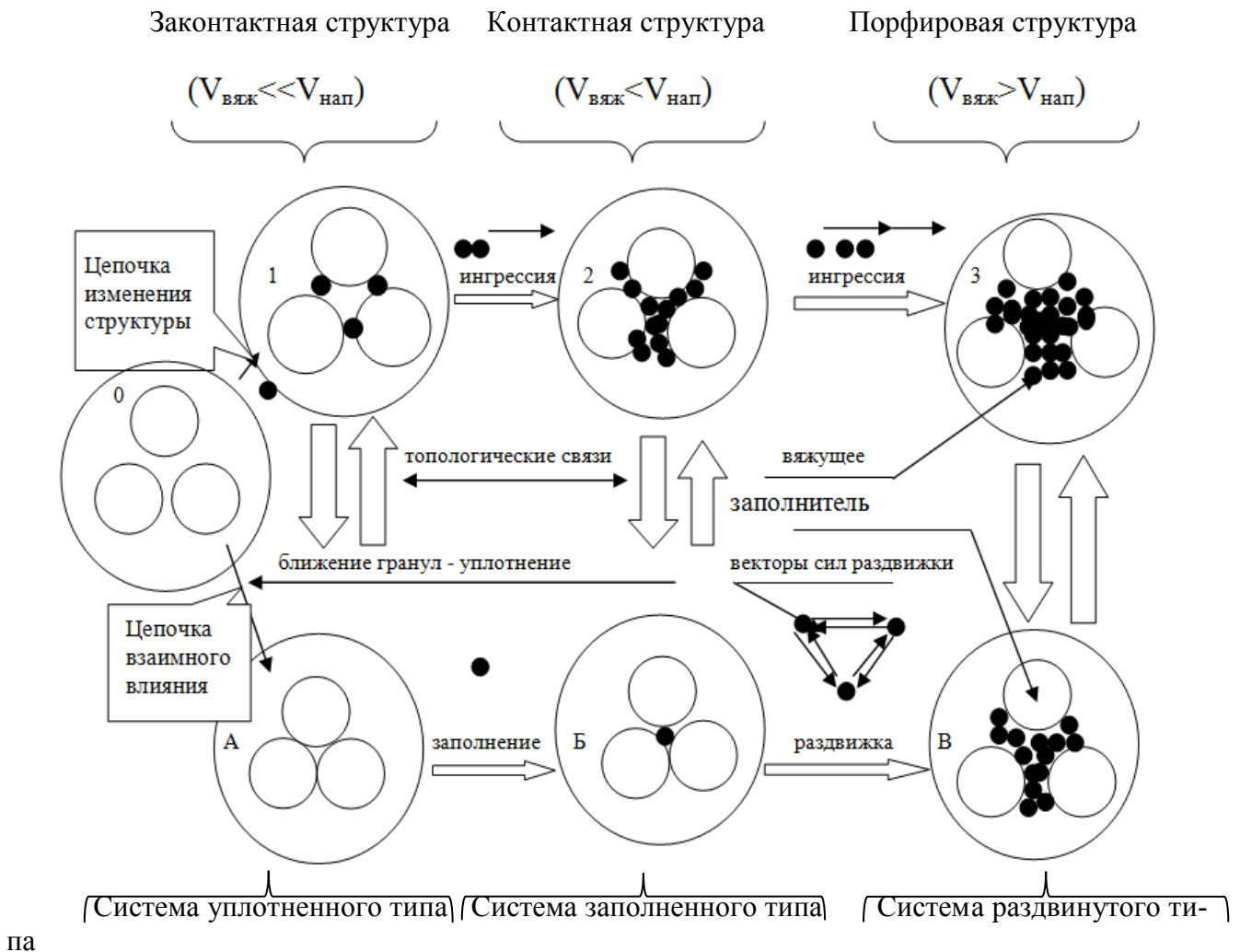


Рисунок 4 – Эргическая взаимосвязь гранул макро-, мезо- и микроструктур композита

$P_{зф} < P_{мзп}$ – условие перехода системы уплотненного типа в систему заполненного типа, где $P_{зф}$ – размеры зерен уплотняющей фракции; $P_{мзп}$ – размеры межзерновых пустот, $V_{пзф} < V_{зф}$ – условие перехода системы заполненного типа в систему раздвинутого типа, где $V_{пзф}$ – общий объем пустот заполняемой фракции; $V_{зф}$ – общий объем заполняющей фракции.

Количественные закономерности представляют собой соотношения количества гранул и контактов между ними (гранул-контактов) для размеров гранул 1 мм, 1 см и 1 дм с приведением их к объемно массовым характеристикам (на 1 кубический метр). Для анализа соотношений приводятся разъяснения символов в используемых зависимостях: G – количество гранул, K – количество контактов между ними $\xi = K/G$; $v = K \times G / (K + G)$; $\mu = (\xi + 1) / \xi$; общее количество гранул и контактов вычисляется из выражения $N = v \times \mu$.

В таблице 1 отображено изменение значений G , $V_{пзф}$, коэффициентов ξ , μ , K/γ , где γ – плотность фракции с соответствующим размером гранул для кубической уплотненной монофракционной упаковки размером в один кубический метр.

Пример расчета количества гранулярных контактов представлен на рисунке 5.

Количественные взаимосвязи справедливы для дисперсных систем со следующими разновидностями макроструктур:

- системы с макроструктурами заполненного типа;
- системы с макроструктурами раздвинутого типа;
- системы с макроструктурами заполнено-раздвинутого типа.

Таблица 1 – Количественно-контактные коэффициенты

Диаметр гранулы в единицах	Количество гранул G	Количество контактов K	Координационное число ξ	Координационный коэффициент μ	Удельное число контактов $\zeta = K/\gamma$
Метр	1	0	0	∞	0
Дециметр	103	2700	2,7	5,0704	$1,227 \cdot 10^{-3}$
Сантиметр	106	1009800	1,0098	4,000095	0,459
Миллиметр	109	$1,00099 \cdot 10^9$	1,000998	4,000000995	454,9991
Микрометр	1018	$1,000001 \cdot 10^{18}$	1,000000999	4	$4, (54) \cdot 10^{11}$
Нанометр	1027	1027	1	4	$4, (54) \cdot 10^{20}$

Пример расчета коэффициентов гранул и контактов на 1 метр куб согласно распределения Функа-Дингера для известняка.

(Известняк-1760 кг, Цемент-300кг, вода-140кг, $\gamma_{\text{монолита}}=2200 \text{ кг/м}^3$)

для $D>1$, $\zeta=45.545(10-D)$, для $D<1$, $\zeta=[500.5-45.5D]$

для $D>1$, $\omega=45.454(10-D)$, для $D<1$, $\omega=[500.4-45.4D]$

(получено из таблицы пропорций для известняка)

Фракция, мм	Количество на кубический метр, кг	ζ , конт / г, гран/г	Ω	K	G
5	570	227,7	227,3	129803250	129561000
2,5	410	341,6	340,9	140050875	139769000
1,25	280	398,5	397,7	111585250	111363623
0,63	200	471,8	471,7	94366000	94340000
0,315	140	486,2	486,1	68063800	68054000
0,16	100	493,2	493,1	49322000	49310000
0,14	20	494,1	494,0	9882600	9880000
0,125	20	494,8	494,7	9896200	9894000
0,1	20	495,9	495,8	9919000	9916000

$\Sigma=2200 \text{ кг/м}^3$ $\Sigma \zeta=3903,9$ $\Sigma \omega=3901,3$ $\Sigma K=622888975$ $\Sigma G=622087623$

$\xi=622888975/622087623= 1,00129$, $\mu=4,00000166$, $\Sigma K/\Sigma \zeta=159,55 \text{ кг}$, $\Sigma G/\Sigma \omega=159,46 \text{ кг}$

Рисунок 5 – Пример расчета количества гранул и контактов

Каждый тип систем обладает индивидуально выраженной количественной взаимосвязью между составом, макроструктурой и показателями физико-механических свойств [8]. Крупнозернистые фракции с большими размерами твердых тел, имеющие точечный контакт между собой, называются скелетными или скелетообразующими фракциями. Смеси, в которых объёмы межзерновых пустот заполнены твердыми телами меньших размеров, относятся к категории конгломератных систем заполненного типа.

В системах заполненного типа величина объёма межзерновых пустот определяется величиной пустотности скелетной фракции за вычетом объёма монолитного твердого тела заполняющей фракции. 1 м³ скелетной фракции имеет величину пустотности, равной $V_{п1}$, заполняющая фракция имеет величину пустотности $V_{п2}$. Объём монолитного материала заполняющей фракции в 1 м³ насыпного объёма составляет $V_{м2}=1-V_{п2}$, м³, а в V_n м³, расходуемом на заполнение объёма межзерновых пустот скелетной фракции,

$$V_{м2} = V_{н}(1 - V_{п2}), \text{ м}^3.$$

Таким образом, величина пустотности системы заполненного типа определяется по формуле

$$V_{псм} = V_{п1} - V_{н}(1 - V_{п2}), \text{ м}^3.$$

Для заполнения объема пустот системы заполненного типа жидким компонентом требуется $V_{псм}, \text{ м}^3$.

Расход скелетной фракции составляет 1 м^3 , расход фракции с меньшими размерами твердых тел равен $V_{н2}, \text{ м}^3$, объем пустот смеси равен $V_{псм}, \text{ м}^3$.

Масса смеси в 1 м^3 равна насыпной плотности смеси:

$$\gamma_{см} = 1 \text{ м}^3 \times \gamma_1 + V_{н2} \times \gamma_2 = G_{см}, \text{ кг/м}^3.$$

Объем смеси определяется выражением:

$$V_{см} = V_{мон1} + V_{мон2} + V_{псм} = 1 \text{ м}^3.$$

Баланс монолитных объемов, объема пустот или объема жидкого компонента используется для правильности расчетов и дозировки материалов в процессе приготовления смеси. Твердые тела заполняющей фракции, соизмеримые с размерами пустот скелетной фракции, могут заполнять пустоты скелетной фракции только в процессе перемешивания смеси или в процессе послойного заполнения пустот.

Твердые тела заполняющей фракции, в 6,4-6,6 раза меньшие по размерам твердых тел скелетной фракции, обладают способностью заполнять пустоты скелетной фракции подобно жидкости. В процессе перемешивания минеральных материалов в присутствии жидкой фазы обязательно происходит вклинивание мелких твердых тел между телами больших размеров, а между всеми твердыми телами формируются прослойки жидкого компонента.

В процессе перемешивания дисперсных систем заполненного и раздвинутого типов формируются системы заполнено-раздвинутого типа. В системах заполненного типа заполняющая фракция перераспределяется в процессе перемешивания, часть объема этой фракции расходуется на раздвижку, а остальная часть в процессе уплотнения смеси используется для заполнения пустот фракции с большими размерами зерен. При этом пустотность уплотненной системы всегда меньше её рассчитанной величины.

Составы систем заполнено-раздвинутого типа рассчитываются с использованием следующих аналитических выражений.

Расход фракции с размерами тел d_1 :

$$V_{d1} = 1 \text{ м}^3 / \alpha_1, \text{ м}^3.$$

Расход фракции с размерами тел d_2 :

$$V_{d2} = V_{d1} \times (V_{нд1} + \alpha_1 - 1) / \alpha_2.$$

По другим зависимостям:

$$V_{d2} = \varphi \times V_{нд1}, \text{ при } d_2/d_1 \rightarrow 1;$$

$$V_{d2} = V_{нд1}, \text{ при } d_2/d_1 \rightarrow 0,$$

где φ – степень заполнения пустот одной фракции зёрнами другой, его величина определяется эмпирически и колеблется в пределах от 0 до 1. Ее эквивалентом при количественном рассмотрении гранул и контактов является величина полной пустотности в процентах в зависимости от модальности и типа упаковки.

Расход жидкой фазы:

$$V_{ж} = V_{d2} \times (V_{нд2} + \alpha_2 - 1) / 1, \text{ м}^3,$$

где α_1 и $\alpha_2 (\alpha = (1 + d_2/d_1)^3)$ – коэффициенты раздвижки при $d_1 \gg d_2$.

Если раздвигающий компонент – жидкая фаза, то заполнено-раздвинутая упаковка будет характеризоваться наличием жидких прослоек между всеми зернами системы (рисунок 6).

Использование дисперсных систем для изготовления строительных композитов включает несколько последовательных стадий: лабораторные испытания исходных сырьевых материалов, проектирование или подбор смесей с требуемым комплексом показателей физико-механических свойств, промышленное производство дисперсных смесей, получение композиции на их основе с последующим изготовлением строительных изделий и конструкций.

При этом решаются вопросы, связанные с установлением качественных и количественных взаимосвязей между составом, структурой (макроструктурой) и свойствами.

С использованием дисперсных материалов с различными гранулометрическими характеристиками представляется возможным получение смесей с широкими пределами колебаний объёмно-массовых характеристик. Получение материалов с экстремально выраженными свойствами достигается через оптимизирование гранулометрического состава смеси, а также через оптимизирование объёмных соотношений между сыпучей смесью и жидкой фазой в процессе приготовления композиций (растворов, смесей для формования, виброуплотнения). Наряду с оптимизированием составов смесей по грансоставу, большое значение имеет отношение размеров твердых тел. Система, оптимизированная по грансоставу, является оптимальной и по макроструктуре. Оптимизированная система является составной частью оптимизированной композиции, содержащей в своем составе оптимальное количество матрицы (вода – в бетонных смесях, битум – в асфальтобетонных смесях, связующее вещество – в композиционных материалах). Данные характеристики сейчас особенно актуальны, когда развиваются такие системы как самоуплотняющиеся бетоны (СУБ), портланд-известняковые цементы (группы СЕМ II/LL), которые нашли отражение в нормах зарубежных стран. Наряду с проблемами оптимизирования дисперсных смесей и композиций в процессе проектирования изделий из мелкозернистых бетонов высокого качества необходимо оптимизирование параметров на всех операциях технологического процесса. Сюда относятся: дозирование фракций, давление, время, температура, направление и величина виброколебаний, параметры внешней среды и др. При проектировании строительных композитов заданной структуры устанавливаются количественные взаимосвязи между объёмно-массовыми и гранулометрическими характеристиками дисперсных систем, явлениями уплотнения (заполнения) и раздвижки зерен зернами, объёмно-массовыми характеристиками дисперсных смесей и физико-химическими свойствами компонентов бетонов.

Таким образом, решая задачи подбора состава композита, для различных критериев оптимальности, будь то экономия сырьевых материалов или повышение технико-эксплуатационных показателей материалов, необходимо направленно варьировать рецептурные параметры, подбирая требуемые соотношения компонентов, и согласовывать их с выходными свойствами материала. В данном исследовании методом математического моделирования установлены функциональные взаимосвязи между объёмно-массовыми параметрами дисперсных материалов, применяемых в производстве строительных композитов. Полученные данные не противоречат существующим независимым исследованиям.

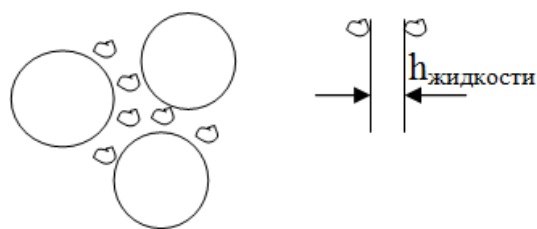


Рисунок 6 – Заполненно-раздвинутая жидкой фазой упаковка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранцева, Е.А. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов, Ю.В. Хохлова. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.
2. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников // Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
3. Белов, В.В. Формирование оптимальной макроструктуры строительной смеси / В.В. Белов, М.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2009. №9. – С. 88-90.
4. Белов, В.В. Теоретические основы методики оптимизации гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов / В.В. Белов, М.А. Смирнов // Российская академия архитектуры и строительных наук. Вестник отделения строительных наук. Научное издание. Вып. 15. – Москва-Орел-Курск. – 2011. – С. 175-179.
5. Белов, В.В. Новые принципы определения состава высококачественного бетона / В.В. Белов, М.А. Смирнов // Вестник Тверского государственного технического университета. – Вып. 13 / Тверской гос. техн. ун-т. – Тверь, 2008. – С. 341-346.
6. Королев, Л.В. Анализ упаковки полидисперсных частиц в композитных строительных материалах / Л.В. Королев, А.П. Лупанов, Ю.М. Придатко // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – №6. – С. 105-108.
7. Слоэн, Н.Дж.А. Упаковка шаров / Н. Дж. А. Слоэн // В МИРЕ НАУКИ. Scientific American. Издание на русском языке. 1984. № 3. С. 72–82.
8. Миронов В.А. Методы оптимизации составов сыпучих систем / В.А. Миронов, А.И. Голубев, Тверь: ТГТУ, 2003. – С.76.

Белов Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь
Доктор технических наук, профессор, советник РААСН, проректор по инновационному развитию, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций.
E-mail: vladim-bel@yandex.ru.

Куляев Павел Викторович

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь
Старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений.
E-mail: p.kuliaev@yandex.ru.

V.V. BELOV, P.V. KULYAEV

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF OPTIMUM GRAIN COMPOSITIONS OF COMPOSITE MATERIALS WITH MINERAL FILLERS

Process of receiving highly effective construction materials sets a number of tasks among which development of structures, compoundings, technological modes and many others for researchers. Mathematical models allow to describe rather fully structure of composite material, considering the natural nature of distribution of structural elements in volume of material that proves approach to his studying from positions of the theory of dimension and topological spaces.

In the paper the main regularities of formation of optimum grain structure of construction composite materials on a cement basis with mineral fillers are considered and generalized. The complex way mathematical reconstruction of grain structure and calculation of optimum compositions of raw mixes, the wide range of parameters and to estimate derivative properties of disperse systems, and also to select optimum particle size distribution of mixes allowing to vary is offered.

Key words: *disperse system, structurization, spatial structure, structural topology, optimum granulometriya, dense packaging, mathematical reconstruction, model.*

BIBLIOGRAPHY

1. Barantseva, Ye.A. Protsessy smeshivaniya sypuchikh materialov: modelirovaniye, optimizatsiya, raschet / Ye.A. Barantseva, V.Ye. Mizonov, YU.V. Khokhlova. – GOUVPO «Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet im. V.I. Lenina», Ivanovo, 2008. – 116 s.
2. Bazhenov, YU.M. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony / YU.M. Bazhenov, V.S. Dem'yanova, V.I. Kalashnikov // Nauchnoye izdaniye. – M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006. – 368 s.
3. Belov, V.V. Formirovaniye optimal'noy makrostruktury stroitel'noy smesi / V.V. Belov, M.A. Smirnov // Stroitel'nyye materialy. – 2009. №9. – S. 88-90.
4. Belov, V.V. Teoreticheskiye osnovy metodiki optimizatsii granulometricheskogo sostava kompozi-tsiy dlya izgotovleniya bezobzhigovykh stroitel'nykh konglomeratov / V.V. Belov, M.A. Smirnov // Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk. Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk. Nauchnoye izdaniye. Vyp. 15. – Moskva-Orel-Kursk. – 2011. – S. 175-179.
5. Belov, V.V. Novyye printsipy opredeleniya sostava vysokokachestvennogo betona / V.V. Belov, M.A. Smirnov // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Vyp. 13 / Tverskoy gos. tekhn. un-t. – Tver', 2008. – S. 341-346.
6. Korolev, L.V. Analiz upakovki polidispersnykh chastits v kompozitnykh stroitel'nykh materialakh / L.V. Korolev, A.P. Lupanov, YU.M. Pridatko // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2007. – №6. – S. 105-108.
7. Sloen, N.Dzh.A. Upakovka sharov / N. Dzh. A. Sloen // V MIRE NAUKI. Scientific American. Izdaniye na russkom yazyke. 1984. № 3. S.72–82.
8. Mironov V.A. Metody optimizatsii sostavov sypuchikh sistem / V.A. Mironov, A.I. Golubev, Tver': TGTU, 2003. – S.76.

V.V. Belov

Tver State Technical University, Tver

Doctor of Engineering, Professor, Adviser of the RAACS, Vice-rector by Innovation Development,

Head of Chair of Building Products and Structures Manufacture

E-mail: vladim-bel@yandex.ru.

P.V. Kuliaev

Tver State Technical University, Tver

Senior teacher Chair of Structures and Constructions .

E-mail: p.kuliaev@yandex.ru.

ГОРЯЧЕВА В.А., ХРИСТОФОРОВ А.И., ХРИСТОФОРОВА И.А.

**ПОЛИМЕРБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА,
МОДИФИЦИРОВАННОГО СИЛАНОВЫМИ ДОБАВКАМИ**

Представлено исследование полимербетонов на основе поливинилхлорида, модифицированного силановыми добавками. Разработанный материал является экологически безопасным и долговечным покрытием полов, отделочных и изоляционных материалов. Проведены испытания, анализ и обработка данных для полученного материала. Композиты исследовали на ударную вязкость, истираемость, прочность при сжатии, плотность, горючесть, водопоглощение, морозостойкость. Применено планирование эксперимента по плану Бокса-Бенкина, по которому построены поверхности отклика для физико-механических свойств. В ходе исследований был получен полимербетон с высокими физико-механическими характеристиками для применения в качестве напольных покрытий зданий промышленного и гражданского строительства, черепицы, труб, профилей строительного назначения, высокохимически-масло-бензостойких половых настилов животноводческих ферм, крышки канализационных люков, высокоизносостойких покрытий гальванических цехов, масло-бензостойкая тротуарная плитка для бензозаправок и промышленности нефтехимии, отделочного стенового материала, несъемной опалубки при монолитном домостроении. Данный материал является перспективным для выпуска на строительном рынке в России и зарубежном.

Ключевые слова: поливинилхлорид, строительство, строительные материалы, напольное покрытие, кварцевый песок, пластификатор, силановые добавки, минеральные заполнители.

В настоящее время в России и за рубежом выпускается большое количество различных строительных материалов и изделий, отличающихся друг от друга по технологии изготовления, своему составу, свойствам и способу изготовления. Одними из эффективных строительных материалов являются изделия, изготавливаемые на основе высокомолекулярных соединений – полимеров.

Полимерные материалы обеспечивают снижение массы ограждающих конструкций, повышают качество и долговечность зданий и сооружений, не требуют дополнительных отделочных операций, не подвергаются коррозии, повышают индустриальность строительства. Из полимерных материалов изготавливают большое количество строительных материалов и изделий. Это покрытия полов жилых и промышленных зданий, изделия для санитарно-технического оборудования, тепло- и звукоизоляционные материалы, отделочные, конструкционные, гидроизоляционные изделия и др. [1, 2].

Отличительной особенностью большинства пластиковых изделий является их высокая прочность, относительная легкость и высокая химическая стойкость к воздействию агрессивных сред. Они не требуют дополнительной окраски после формования и имеют красивый внешний вид.

Полимерные материалы заметно увеличивают потенциальные возможности эксплуатации зданий и сооружений. Бетон является одним из основных строительных материалов. В последнее время успехи цементной промышленности и совершенствование технологии бетона позволили заметно улучшить его качество. Однако возможности прогресса в этом направлении ограничены [8].

Развитие строительства требует применения более прочных и долговечных материалов. Это возможно достигнуть при использовании последних достижений химической промышленности и особенно при модифицировании структуры бетона полимерами. При этом возможны различные пути совершенствования структуры и свойств бетона: введение в состав бетона новых компонентов, воздействие на традиционные составляющие, бетонную смесь или уже готовый бетон [4].

В настоящее время часто встречаются материалы, которые успешно сочетают в своем составе органические и неорганические компоненты, причем эти изделия обладают высокой прочностью и легкостью. Объединение в систему минерального скелета и полимеров позволя-

ет получить новые строительные композиционные материалы, отличающие более высокими свойствами, чем традиционные строительные материалы, в частности бетон [3].

Полимербетонные композиции обладают хорошими физико-химическими свойствами, стойкостью к воздействию агрессивных сред, что обуславливает перспективность их использования в качестве конструкционных материалов и защитных покрытий [9]. Полимербетоны – конгломератные составы, получаемые на основе синтетических полимеров, химически стойких наполнителей и заполнителей без участия минеральных вяжущих и воды [5].

Полимербетоны изготавливают на различных видах полимерного связующего, основу которого составляют смолы или мономеры, отверждаемые с помощью специальных добавок. Заполнителями служат песок и щебень. Создание полимербетонов на термопластичных полимерах значительно расширяет области применения данных материалов, позволяет экономить дефицитные природные материалы. Их разработка является перспективной и актуальной задачей [6].

Целью исследования являлась разработка технологии получения высоконаполненных композитов на основе поливинилхлорида, содержащих до 60-75 мас. % минерального заполнителя, которая позволит снизить количество потребляемого поливинилхлорида на 25-30%, увеличить прочность при сжатии, ударную вязкость, морозостойкость, снизить горючесть, истираемость и водопоглощение.

Необходимость разработки данного материала обусловлено высокой потребностью экологически безопасных и долговечных покрытий полов, отделочных и изоляционных материалов, изделий санитарно-технического назначения, конструкционные, гидроизоляционные изделия. Крайне актуально использование в качестве долговечных химически стойких покрытий в животноводческих фермах, крышек канализационных люков на дорожных коммуникациях.

За основу был принят поливинилхлорид, т.к. данный полимер очень широко применяется в строительстве, является самым крупнотоннажным в мире. Он стоек к 90%-ной серной, 50%-ной азотной, 37%-ной соляной, 40%-ной плавиковой, 80%-ной уксусной, муравьиной кислотам, 60%-ному гидроксиду натрия, 30%-ному пероксиду водорода, масло-, бензо-, керасиностоек; не горюч, допущен к использованию в жилых помещениях. Используется для наружной и внутренней облицовки стен, полов, потолков.

При эксперименте были получены образцы в виде балочек и цилиндров методом пресования, проведены испытания на ударную вязкость (ГОСТ 4647-80), истираемость (ГОСТ 13087-81), прочность при сжатии (ГОСТ 28570-90), плотность (ГОСТ 12730.1-78), горючесть (ГОСТ 12.1.044-89), водопоглощение (ГОСТ 12730.3-78), морозостойкость (ГОСТ 10060.0-95). Было применено планирование эксперимента по плану Боксу-Бенкину, по которому были получены адекватные уравнения регрессии. Факторы и интервалы их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1- Факторы и уровни варьирования по плану Бокса-Бенкина

Фактор	Обозначение	Единицы измерения	Уровни варьирования		
			верхний	нулевой	нижний
			кодированное обозначение		
			1	0	-1
Песок	x_1	мас.ч	950	900	850
Силановая добавка	x_2	мас.ч	4	3	2
Пластификатор	x_3	мас.ч	26	23	20

$$Y_1(\rho, \text{кг/м}^3) = 2094,8 + 32,75x_2 \cdot x_3;$$

$$Y_2(a, \text{кДж/м}^2) = 1,099 + 0,135x_2 + 0,228x_2^2,$$

$$Y_3(\sigma_{\text{сж}}, \text{МПа}) = 18,5 + 2,17x_2;$$

где $Y_1(\rho)$ - плотность, кг/м³

$Y_2(a)$ - ударная вязкость, кДж/м²;

$Y_3(\sigma_{\text{сж}})$ - прочность при сжатии, МПа.

После проведения регрессионного анализа на основании полученных уравнений регрессии были построены поверхности отклика для разных свойств материала. Ниже приведены поверхности отклика различных свойств материала в зависимости от содержания силановой добавки и пластификатора, при введении песка в количестве 900 мас.ч.

Влияние пластификатора на прочность при сжатии представлена на рис. 1, по которому видно, что при увеличении концентрации силановой добавки от 2 до 4 мас.ч. идет рост прочности при сжатии от 16,4 до 20,7 МПа, а при увеличении содержания пластификатора в композиции от 20 до 26 мас.ч. прочность при сжатии не изменяется. Данная зависимость обусловлена тем, что при увеличении доли силановой добавки в композиции идет рост образуемых наночастиц при ее гидролизе. Это увеличивает количество центров структурообразования и влияния их на надмолекулярную структуру ПВХ в сторону ее упрочнения.

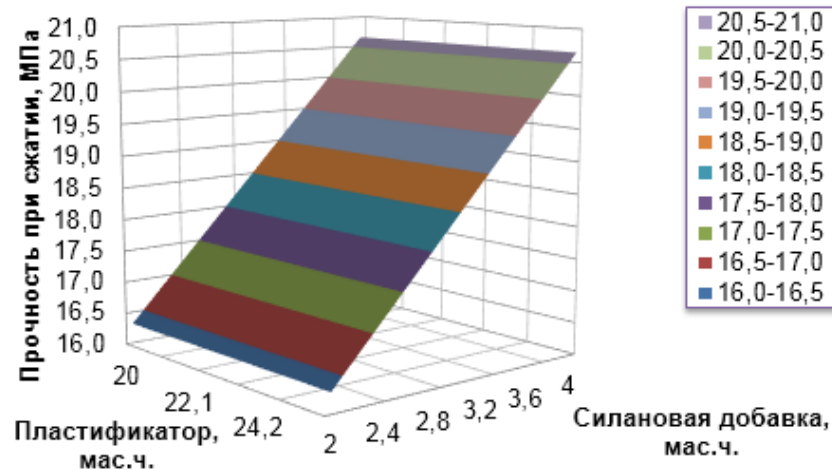


Рисунок 1 - Зависимость концентрации пластификатора и силановой добавки на прочность при сжатии

На рис. 2 представлена зависимость ударной вязкости от содержания силановой добавки и пластификатора. По данным видно, что при увеличении количества пластификатора от 20 до 26 мас.ч. не приводит к изменению ударной вязкости. При увеличении содержания силановой добавки от 2 до 2,6 мас.ч. ударная вязкость снижается с 1,200 до 1,075 кДж/м², а при дальнейшем увеличении концентрации силановой добавки от 2,6 до 4 мас.ч. происходит рост ударной вязкости до 1,47 кДж/м². Это объясняется тем, что с ростом содержания силановой добавки происходит увеличение подвижности макромолекул ПВХ и за счет этого возрастает ударная вязкость композиции.

Зависимость плотности от концентрации силановой добавки и пластификатора приведена на рис. 3. На графике видно, что при увеличении количества силановой добавки от 2 до 4 мас.ч. происходит увеличение плотности от 2060 до 2130 кг/м³. Совместное взаимодействие пластификатора и силановой добавки носит экстремальный характер, который обусловлен разнонаправленным воздействием на степень уплотнения макромолекул ПВХ. Пластификатор способствует разрыхлению надмолекулярной структуры ПВХ за счет его сольватации макромолекул, а наночастицы силановой добавки направлены на уплотнение макромолекул - повышение их степени кристалличности [7].

Технико-экономическая эффективность использования полимербетонов для изготовления изделий и конструкций заключается в повышении их долговечности и эксплуатационных качеств, что способствует снижению эксплуатационных расходов и увеличению межремонтных сроков, по сравнению с материалами на основе портландцемента.

Свойства полученных полимербетонов на основе наполненного поливинилхлорида, которые были получены в ходе исследований, приведены в сводной таблице 2.

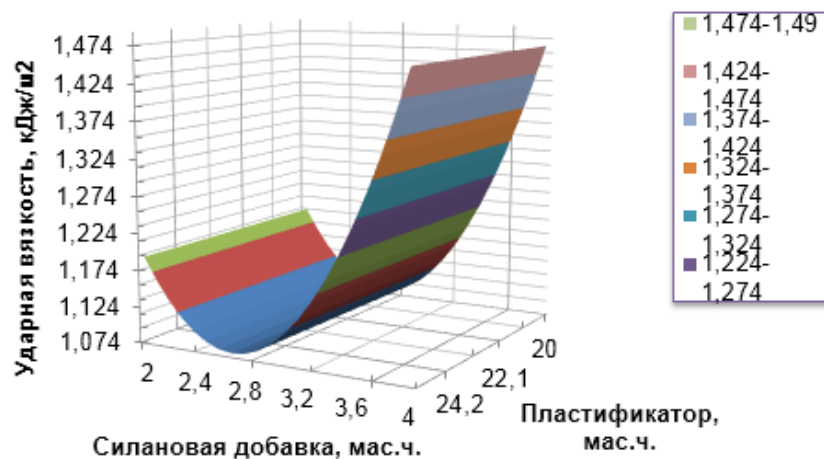


Рисунок 2 – Зависимость концентрации пластификатора и силановой добавки на ударную вязкость

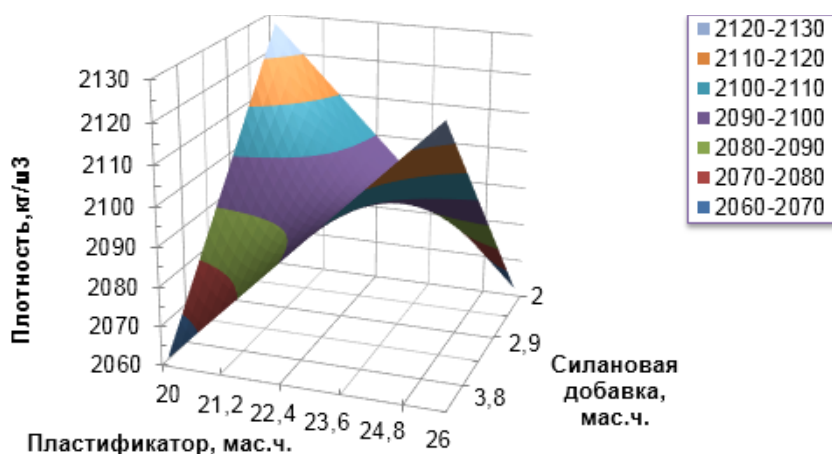


Рисунок 3 – Зависимость концентрации пластификатора и силановой добавки на плотность материала

Таблицы 2 - Сравнительные характеристики разработанного и известного полимербетона

Характеристики	Полимербетон на основе ПВХ (новая разработка)	Полимербетон на основе полиэтилена [10]
Прочность при сжатии, МПа	15-22	0,8-1,7
Плотность, кг/м³	2034-2074	1200-1350
Ударная вязкость, кДж/м²	0,9-1,8	0,8-1,5
Истираемость, г/см²	0,03	1-3
Горючесть, класс	Г1	Г4
Морозостойкость, циклы	Более 150	50

Выводы

1. Разработка полимербетонных материалов на основе силановых соединений является перспективной и актуальной задачей, т.к. в современное время необходимо производство экологически безопасных и долговечных покрытий полов, отделочных и изоляционных материалов.
2. Использование наномодифицированных добавок позволяет изменить надмолекулярную структуру поливинилхлорида, изменить его вязкостные характеристики, повысить адгезию к заполнителю за счет увеличения активных диполей и тем самым увеличить прочностные характеристики производимого композита.

3. Из таблицы видно, что для разработанного материала прочность при сжатии, плотность и ударная вязкость больше, чем для полимербетона на основе полиэтилена. Так же полученный материал более безопасен, по сравнению с аналогом, т.к. имеет первый класс горючести. Истираемость изделия полимербетона на основе полиэтилена велика – 3 грамма с квадратного сантиметра. Производство по изготовлению полимербетона на основе поливинилхлорида, модифицированного силановыми добавками, является экономически выгодным по сравнению с полимербетоном на основе полиэтилена.

4. Разработанный полимербетон на основе силановых соединений можно использовать в качестве высокохимически-масло-бензостойких половых настилов животноводческих ферм, текстильных предприятий, черепицы, крышки канализационных люков, труб, профилей строительного назначения, масло-бензостойкая тротуарная плитка для бензозаправок и промышленности нефтехимии, для полов текстильных предприятий, высокоизносостойких покрытий гальванических цехов, отделочного стенового материала, не съёмной опалубки при монолитном домостроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяйнов, К.Э. Технология производства полимерных и теплоизоляционных изделий [Текст]: [Учебник для ВУЗов] / К. Э. Горяйнов, В. В. Коровникова. - Москва : Высш. школа, 1975. - 296 с.
2. Комар, А.Г. Технология производства строительных материалов: Учеб. для ВУЗов / А. Г. Комар, Ю. М. Баженов, Л. М. Сулименко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1990. - 445,[1] с.
3. Новиков, В.У. Полимерные материалы для строительства. М.: Высш. шк., 1995. - 448 с.
4. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры. М.: Стройиздат, 1983. - 472 с.
5. ГОСТ 25192-82. СТ СЭВ 6550-88. Бетоны. Классификация и общие технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 5 с.
6. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям / Ю. М. Баженов. - [5-е изд.]. - Москва : Изд-во АСВ, 2011. - 524 с.
7. Христофоров, А.И. Полимербетон на основе поливинилхлоридного связующего /А.И. Христофоров, И.А. Христофорова, П.П. Гуюмжян, В.В. Глухоедов // Известия ВУЗов “Химия и хим. технология”.- 2004.- Том 47.- Вып. 1 - С. 159-160
8. Бобров, Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции: Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений [Текст] / Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова. - М.: ИНФА-М, 2003. - 268 с.
9. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: структура и свойства: справ. пособие [Текст] / В. С. Горшков, В. Г. Савельев, А. В. Абакумов. - М. : Стройиздат, 1995. - 576 с.
10. Фальгельсон В.А., Табачник Л.Б. Полимербетон на основе термопластичных связующих//строительные материалы.-1994.-№9.-с.21-22.

Горячева Виктория Александровна

Владимирский государственный университет, г. Владимир
Магистрант кафедры Химические технологии
E-mail: 94bika@bk.ru

Христофоров Александр Иванович

Владимирский государственный университет, г. Владимир
Доктор технических наук, профессор кафедры Химические технологии
E-mail: khristoforov@mail.ru

Христофорова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет, г. Владимир
Доктор технических наук, профессор кафедры Химические технологии
E-mail: khristoforova-i@mail.ru

V. A. GORYACHEVA, A. I. CHRISTOFOROV, I. A. CHRISTOFOROVA

POLYMER CONCRETE BASED ON POLYVINYL CHLORIDE MODIFIED WITH ADDITIVES WILANOWIE

The research presented below is about the polymer concrete based on polyvinyl chloride modified by silane supplements. Developed material is an environmentally friendly and durable coating for floors, finishing and insulating materials. An experiment has been carried out including the analysis and data processing for the material. The composites were examined for impact strength, wear capacity, compressive strength, density, burning quality, absorption of water, freeze-thaw resistance. Box-Benkin plan has been used in order to carry out the experiment, which resulted in building surfaces of response for physical and mechanical properties. While researching, a polymer concrete with excellent physical and mechanical properties has been created, which can be used as floor coverings in industrial and civil engineering, quadrel, piping, gauge material building purpose, chemically - oil - gasoline-resistant flooring for livestock ranches, manhole cover, high-abrasion-resistant coatings galvanizing plants, oil - gasoline-resistant paving flags for filling station and petrochemical industry, finishing wall materials, not removable cast formwork for cast-in-place construction. This material is promising for release in the construction market in Russia and abroad.

Keywords: polyvinyl chloride, constructing, materials of construction, floor covering, silica sand, plasticizer, silane additives, mineral fillers.

REFERENCES

1. Goryaynov, K.E. Tekhnologiya proizvodstva polimernykh i teploizolyatsionnykh izdeliy [Tekst]: [Uchebnik dlya VUZov] / K. E. Goryaynov, V. V. Korovnikova. - Moskva : Vyssh. shkola, 1975. - 296 s.
2. Komar, A.G. Tekhnologiya proizvodstva stroitel'nykh materialov: Ucheb. dlya VUZov / A. G. Komar, YU. M. Bazhenov, L. M. Sulimenko. - 2-ye izd., pererab. i dop. - M. : Vyssh. shk., 1990. - 445, [1] s.
3. Novikov, V.U. Polimernyye materialy dlya stroitel'stva. M.: Vyssh. shk., 1995. - 448 s.
4. Bazhenov, YU.M. Betonopolimery. M.: Stroyizdat, 1983. - 472 s.
5. GOST 25192-82. ST SEV 6550-88. Betony. Klassifikatsiya i obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. - M.: Izd-vo standartov, 1982. - 5 s.
6. Bazhenov, YU.M. Tekhnologiya betona [Tekst]: uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po stroitel'nykh spetsial'nostyam / YU. M. Bazhenov. - [5-ye izd.]. - Moskva : Izd-vo ASV, 2011. - 524 s.
7. Khristoforov, A.I. Polimerbeton na osnove polivinilkhloridnogo svyazuyushchego /A.I. Khristoforov, I.A. Khristoforova, P.P. Guyumzhyan, V.V. Glukhoyedov // Izvestiya VUZov "Khimiya i khim. tekhnologiya". - 2004.- Tom 47.- Vyp. 1 - S. 159-160
8. Bobrov, YU.L. Teploizolyatsionnyye materialy i konstruksii: Uchebnik dlya srednikh professional'no-tekhnicheskikh uchebnykh zavedeniy [Tekst] / YU.L. Bobrov, Ye.G. Ovcharenko, B.M. Shoykhet, Ye.YU. Petukhova. - M.: INFA-M, 2003. - 268 s.
9. Gorshkov, V.S. Vyazhushchiye, keramika i steklokristallicheskiye materialy: struktura i svoystva: sprav. posobiye [Tekst] / V. S. Gorshkov, V. G. Savel'yev, A. V. Abakumov. - M. : Stroyizdat, 1995. - 576 s.
10. Fal'tel'son V.A., Tabachnik L.B. Polimerbeton na osnove termoplastichnykh svyazuyushchikh//stroitel'nyye materialy.-1994.-№9.-s.21-22.

V. A. Goryacheva

Vladimir state University, Vladimir, Russia
Graduate student of Department of Chemical technology
E-mail: 94bika@bk.ru

A. I. Christoforov

Vladimir state University, Vladimir, Russia
Doctor of technical Sciences, Professor of Department of Chemical technology
E-mail: khristoforov@mail.ru

I. A. Christoforova

Vladimir state University, Vladimir, Russia
Doctor of technical Sciences, Professor of Department of Chemical technology
E-mail: khristoforova-i@mail.ru

КЛЫЧНИКОВ Р.Ю., ЕЗЕРСКИЙ В.А., МОНАСТЫРЕВ П.В.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ГРУППЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
В РАЗЛИЧНЫХ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрено влияние макроэкономических условий на общую величину потенциально достижимой экономии денежных средств при планировании масштабных программ термомодернизации групп жилых зданий. Исследованы различные сочетания нормы дисконта и темпов роста тарифа на тепловую энергию, характерные для различных экономических условий. Оценена целесообразность оптимизации термомодернизации группы жилых зданий. Показаны экономические критерии эффективности реализации подобных программ и найдены условия их безубыточности. Получены оптимальные значения факторов тепловой защиты, соответствующие различным сочетаниям рассматриваемых экономических условий. Построены оптимальные последовательности термомодернизации жилых зданий для изученных значений нормы дисконта и роста тарифа. Выявлено влияние рассмотренных условий на оптимальные параметры тепловой защиты и принцип построения оптимальной последовательности модернизации зданий жилой группы.

Ключевые слова: термомодернизация, тепловая защита, оптимизация, норма дисконта, инфляция тарифов, экономическая эффективность.

Росту и развитию российской экономики препятствует большое число внешних и внутренних факторов, одним из которых является ее низкая энергетическая эффективность. Курс на искоренение данного недостатка, обозначенный на законодательном уровне в конце 2009 года, на практике столкнулся с существенным числом тормозящих аспектов. Кроме того при внедрении соответствующих технических мероприятий зачастую между энергосберегающими и энергоэффективными решениями ставится знак равно, что в корне искажает цель всей программы.

Энергосберегающие мероприятия только уменьшают расход энергии в том или ином процессе жизнедеятельности без учета стоимости достижения такого результата, а энергоэффективные подходы могут не только окупить стоимость своего внедрения, но и сэкономить дополнительные средства за свой срок службы. Очевидно, что для недостаточно развитой экономики оправдана имплементация именно энергоэффективных решений.

В сфере строительства и эксплуатации зданий, в том числе, это достигается за счет применения соответствующих конструктивных решений и использования специальных материалов в наружной оболочке зданий. Достигается это путем оптимизации указанных решений на стадии проектирования. В этой связи поиск экономически оправданных параметров тепловой защиты зданий является интересной прикладной задачей, решению которой уделяется внимание в научных публикациях последних лет [3, 6, 8, 9].

Однако помимо нового строительства в нашей стране имеется огромное число уже существующих зданий, для отопления которых используется колоссальное количество энергии и где имеется большой потенциал повышения энергетической эффективности. Для достижения этого необходима разработка программ термомодернизации больших группы жилых домов, не удовлетворяющих современным требованиям тепловой защиты. В такой ситуации, кроме обоснования факторов, характеризующих параметры теплозащиты, необходимо принимать решение об установлении последовательности выполнения модернизации зданий, которая даст дополнительный экономический эффект.

Прямой метод решения этой задачи описан в [7] на примере провинции Утрехт в Нидерландах. Исследования в этом направлении ведутся и в нашей стране [1, 10], в том числе и авторами. В результате нами была разработана методика оптимизации термомодернизации градостроительного образования, подробно описанная в [5].

С ее использованием в работе [5] приведен пример реализации оптимизации термомодернизации градостроительного образования. Кратко опишем его для лучшего восприятия хода настоящего исследования. При необходимости за более подробной информацией можно обратиться к указанному исследованию [5].

Оптимизация процесса термомодернизации произвольного градостроительного образования была осуществлена на примере группы, состоящей из 720 жилых зданий, которые были представлены 12-ю типами и включали по 60 зданий каждого типа. Климатические условия района строительства характеризовались величиной ГСОП=4763,7°K·сут. Экономические условия реализации планируемой программы термомодернизации характеризовались постоянными на всем расчетном горизонте показателями: нормой дисконта 10%; темпами роста тарифов (инфляцией) на тепловую энергию 15% в год; текущим тарифом на тепловую энергию 45 USD/Гкал (при условном курсе 1 USD = 30 руб.).

В расчетах принималось, что активная фаза проведения программы термомодернизации продлится в течение 12 лет. При этом предполагалось, что ежегодно в течение 12 лет будет модернизировано одинаковое количество эквивалентных объемов зданий, принятое равным 231,70 экв.ед./год.

Планировалось, что термомодернизация каждого здания в отдельности включает в себя утепление наружных стен, чердачных и цокольных перекрытий, а также замену светопрозрачных конструкций. С учетом этого при локальной оптимизации термомодернизации отдельного дома находилось обоснованное сочетание следующих параметров:

- тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор X_1), среди которых рассматривались:

1. утепление по системе «мокрого» фасада с использованием в качестве материала утеплителя плит из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс С»;

2. утепление по системе «мокрого» фасада с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки «Изовент»;

3. утепление по системе вентилируемого фасада с облицовкой из алюминиевых композитных панелей и с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки «Изовент»;

- толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен (фактор X_2), м в рассматриваемых системах утепления. Принимались толщины слоев утепляющего материала 0,05 м; 0,1 м и 0,15 м;

- сопротивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и дверных балконных заполнений термомодернизируемого здания (фактор X_3). Рассматривались конструкции с R равным 0,54 (м²·°C)/Вт, 0,71 (м²·°C)/Вт и 1,02 (м²·°C)/Вт;

- тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_4). Рассматривалось использование в качестве утеплителя:

1. плиты из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс К»;

2. минераловатные плиты марки «Изоруф»;

3. пеностекло (130...190 кг/м³; 0,08 Вт/(м²·°C));

- толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_5), м. Рассматривались толщины утепляющего материала 0,05 м; 0,1 м и 0,15 м;

- толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа (фактор X_6), м. Рассматривалось дополнительное утепление минераловатными плитами марки «Изофлор».

По результатам расчетов прежде всего была выявлена оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий и ряд условий, её обеспечивающих. Под оптимальной последовательностью термомодернизации в исследовании понималось такое распределение типов термомодернизируемых зданий и их количества по годам активной фазы реализации программы, которое обеспечивало бы максимальный экономический эффект от этого мероприятия.

Полученные данные позволили определить оптимальный вариант последовательности, обеспечивающий максимальный экономический эффект в виде суммарной чистой дисконтируемой экономии средств (ЧДЭС) за весь срок службы теплозащитных мероприятий в размере 2 425 128 063 USD.

Решением каждой задачи оптимизации является установление экстремумов изучаемой функции и значений факторов, при которых функция достигает этих экстремумов. Эти значения факторов называют оптимальными.

Поскольку функции, описывающие современные сложные процессы и явления, часто связаны с влияющими факторами довольно непростыми зависимостями, то наиболее приемлемыми подходами к решению задач оптимизации являются численные методы, реализуемые на компьютерах.

Изучение влияния факторов на исследуемую функцию в задачах оптимизации является логически бессмысленным, так как главной и конечной целью является установление оптимальных значений этих факторов. В то же время и на экстремальные значения функции, и на оптимальные значения факторов могут существенно влиять начальные условия или исходные данные, принятые для решения задачи. Часто исходные данные, даже в подобных задачах, могут варьироваться в широких пределах, что может существенно влиять на результаты оптимизации.

В работе [5] было установлено, что эффективность реализации программы термомодернизации повышается при соответствующей последовательности реализации термомодернизации жилых зданий. При этом установлено, что замена наихудшей последовательности реализации термомодернизации на наилучшую дает повышение ЧДЭС на 8,53%. Однако можно ожидать, что при изменении начальных условий задачи эффективность реализации программы будет колебаться как в сторону её повышения, так и в сторону снижения.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния на величину ЧДЭС и оптимальные значения факторов термомодернизации макроэкономических условий, существенные колебания которых наблюдаются в последнее время.

К числу таких макроэкономических показателей нами отнесены норма дисконта p , характеризующая минимально привлекательную доходность от инвестиционной деятельности в конкретных региональных условиях, и средний прогнозируемый годовой темп роста (инфляция) тарифа на тепловую энергию d за весь рассматриваемый период.

В работе [5] эти начальные условия были приняты фиксированными в соответствии со средневзвешенными российскими условиями за период 2013 – первой половины 2014 годов. Однако уже к концу 2014 года наступило ухудшение экономических условий в РФ и других странах и стало очевидным, что в практических ситуациях показатели p и d могут очень сильно отклоняться от ранее принятых нами значений.

Для иллюстрации потенциальной возможности варьирования нормы дисконта p можно использовать нынешнюю экономическую ситуацию в России, складывающуюся на фоне санкций, низких цен на нефть и накопившихся структурных проблем. За неполный год для сдерживания инфляции Центральный Банк РФ был вынужден поднять ключевую учетную ставку, к которой в ближайшее время планируется привязать ставку рефинансирования, с 7% до 17%, т.е. на целых 10 процентных пунктов. В дальнейшем ее пришлось постепенно снижать сначала до 15%, а потом до 14% и далее, т.к. в противном случае возник риск значительного снижения инвестиционной активности. При этом нет гарантий, что начавшуюся рецессию удастся сдержать и остановить, а это в свою очередь не исключает дальнейшего ухудшения инвестиционного климата и увеличения учетной ставки.

Подобные колебания просто не могут не оказывать влияния на эффективность долгосрочной программы термомодернизации, если их экстремальные значения сохраняются достаточно длительное время в течение расчетного горизонта планирования программы. Эти обстоятельства, а также большая потенциальная волатильность кредитного курса ЦБ, позволили нам изучать достаточно широкий диапазон варьирования показателя нормы дисконта p – от

4% до 16%. Для расчетов ЧДЭС приняты 3 значения p : 0,04; 0,10 и 0,16. Практика кризисных периодов показывает, что большее падение экономики и дальнейший рост ставки рефинансирования делает долговременные инвестиции малоэффективными. В этой связи увеличение границ варьирования показателя p за пределы выше выбранных значений было признано нецелесообразным.

Второй макроэкономический показатель - темп роста тарифа на тепловую энергию d , ещё более подвержен изменениям при экономических и энергетических кризисах. Последние десятилетия из года в год тарифы на энергию практически во всех странах показывают стабильный рост. В России, в связи с монополизацией рынка генерации тепла по социально-экономическим соображениям, в последнее время пришлось лимитировать данный рост на государственном уровне. Несмотря на это, время от времени происходят локальные скачки цен, которые, как правило, быстро пресекаются и не подлежат учету в длительном периоде. Значительно худшая, с точки зрения давления на потребителя, ситуация возникает в результате резкого безвозвратного роста тарифов, что смогли прочувствовать на себе жители Украины в ходе очередного витка «газовых войн» и сокращения государственного субсидирования сферы ЖКХ в рамках ассоциации с ЕС.

С другой стороны, резкое падение мировых цен на нефть в конце 2014 года в результате перепроизводства стало причиной снижения розничных цен на бензин в странах ЕС и США. Теоретически нечто подобное может произойти и на рынке генерации тепловой энергии.

Таким образом, существующий и потенциально возможный рост и разброс цен на тепловую энергию убеждали нас в том, что для изучения влияния следует выбрать показатель d также в широком интервале – от 5% до 25%. Для расчетов соответственно приняты 3 значения d : 0,05; 0,15; 0,25. Расширять границы варьирования d было признано нецелесообразным, так как влияние показателя d тесно связано с показателем p . При этом три принятых значения d в сочетании с тремя принятыми ранее значениями p дают девять возможных их сочетаний, охватывающих практически значимый коридор совместного варьирования.

Расчеты ЧДЭС проводились для той же группы жилых зданий, что была описана в работе [5]. Другие начальные условия оставались без изменений. Изменялись только показанные в таблице 1 значения p и d .

Таблица 1 - ЧДЭС при термомодернизации жилых зданий рассматриваемой группы в зависимости от нормы дисконта p и темпа роста тарифов на тепловую энергию d

		Норма дисконта, p		
		0,04	0,10	0,16
Темпы роста тарифов на тепловую энергию, d	0,05	<u>517 583 807</u> 3,05	<u>-250 443 680</u> 5,82	<u>-391 621 022</u> 0,61
		<u>23 110 421 140</u> 15,49	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>45 908 995</u> 18,36
	0,15	<u>691 695 602 671</u> 26,58	<u>64 524 234 160</u> 19,06	<u>7 538 695 732</u> 12,12
	0,25			

Примечание: в знаменателе показано Δy_i - превышение ЧДЭС в % над её величиной, полученной при наихудшей последовательности реализации термомодернизации.

Для совокупностей их значений с помощью компьютерной модели рассчитывалась максимальная величина ЧДЭС и определялась оптимальная последовательность термомодернизации с оптимальными параметрами тепловой защиты для каждого типа зданий. Одновременно выполнялся расчет показателей при наихудшей последовательности реализации программы с минимальной величиной ЧДЭС. Эти данные позволяли рассчитать превышение Δy_i оптимальной ЧДЭС в % над её минимальной величиной, которое косвенно характеризовало

эффект или вклад последовательности реализации термомодернизации в повышение эффективности проекта:

$$\Delta y_i = (\text{ЧДЭС}_{\text{опт}} - \text{ЧДЭС}_{\text{мин}}) 100 / \text{ЧДЭС}_{\text{мин}}, \%$$

После реализации вычислительных процедур получены результаты расчетов, которые представлены в таблице 1. При этом выявлено, что два значения ЧДЭС (при $p=0,10$; $d=0,05$ и $p=0,16$; $d=0,05$) оказались отрицательными. Это означает, что при таких сочетаниях показателей p и d реализация программы термомодернизации будет убыточной. Такая ситуация в реальной строительной практике не должна быть допущена и поэтому данные сочетания значений не заслуживали рассмотрения и анализа.

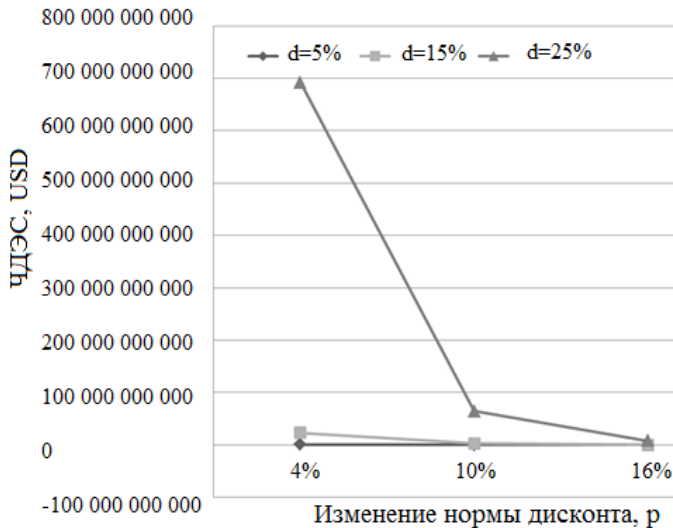


Рисунок 1 - Зависимость ЧДЭС от нормы дисконта p при различных темпах роста тарифов на тепловую энергию d

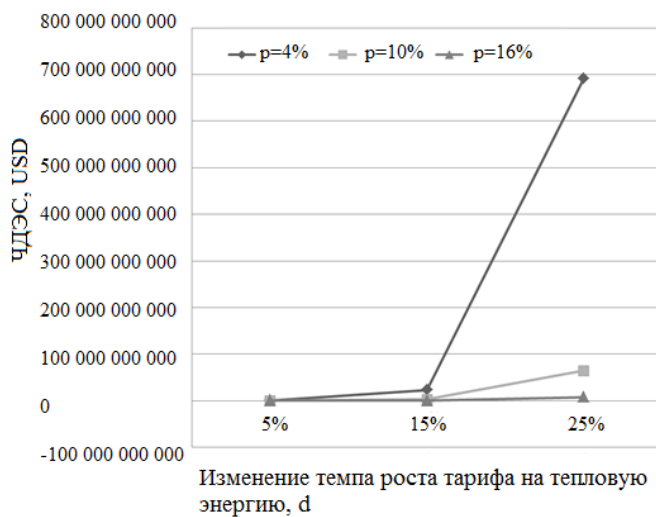


Рисунок 2 – Зависимость ЧДЭС от темпов роста тарифов на тепловую энергию d при различных значениях нормы дисконта p

Далее перейдем к изучению графических зависимостей $\text{ЧДЭС} = f(p)$ и $\text{ЧДЭС} = f(d)$. Как следует из рисунка 1, с увеличением нормы дисконта p при одних и тех же значениях темпа роста тарифов d наблюдается снижение величины ЧДЭС. При увеличении показателя p от 4 до 10% при неизменном $d=15\%$ ЧДЭС снижается в 9,5 раз, а при увеличении p от 10 до 16% – неожиданно снижается почти в 52,8 раза. Снижение величины дохода при увеличении нормы дисконта p имеет место также при $d=25\%$: в интервале изменения p от 4 до 10% величина ЧДЭС уменьшилась в 10,7 раза, а в интервале p от 10 до 16% – в 8,6 раза. Однако динамика изменения двух последних значений ЧДЭС не сопоставима с приведенным выше снижением в 52,8 раза.

При рассмотрении рисунка 2 выявлено, что ЧДЭС сильно возрастает с увеличением темпов роста тарифов на тепловую энергию d . При увеличении показателя d от 0,15 до 0,25 при $p=0,10$ величина ЧДЭС увеличивается в 26,6 раза. Повышение ЧДЭС при увеличении темпов роста тарифов на тепловую энергию d происходит очень неравномерно при $p=0,04$: в интервале изменения d от 0,05 до 0,15 величина ЧДЭС увеличилась в 44,7 раза, а в интервале d от 0,15 до 0,25 – в 29,9 раза.

Для выяснения причины таких аномалий потребовалось изучить характер изменения рассматриваемой функции при колебаниях p и d в окрестности их равных значений, что предположительно могло объяснить отклонения в ее поведении.

Стандартная формула (1) для расчета ЧДЭС при равенстве значений p и d не применима из-за необходимости деления на разность $(p - d)$, которая в этом случае равна нулю. Покажем, как можно получить формулу для расчета ЧДЭС при условии $p=d$. Для этого обратимся к выводу выражения (1), подробно рас-

смотренному в [3], где ЧДЭС рассчитывался как сумма ежегодных прогнозируемых значений промежуточной экономии средств за вычетом величины капитальных затрат:

$$\text{ЧДЭС} = \frac{\Delta D_1}{(1+p)} + \frac{\Delta D_2}{(1+p)^2} + \frac{\Delta D_3}{(1+p)^3} + \dots + \frac{\Delta D_T}{(1+p)^T} - K, \quad (1)$$

где: $\Delta D_i = c_{\text{тг}} \cdot (Q_0 - Q_1)$ – прогнозируемое значение промежуточной экономии средств за i -тый год программы; $c_{\text{тг}} = c_{\text{т0}} \cdot (1+d)^t$ – прогнозируемое значение тарифа на тепловую энергию в i -том году программы.

Обозначив постоянные члены ($c_{\text{т0}} \cdot (Q_0 - Q_1)$) в числителях как D – прогнозируемое значение промежуточной экономии средств за первый год программы, руб., получим следующее выражение:

$$\text{ЧДЭС} = \left(\frac{D}{(1+p)} + \frac{D(1+d)}{(1+p)^2} + \frac{D(1+d)^2}{(1+p)^3} + \dots + \frac{D(1+d)^{T-1}}{(1+p)^T} \right) - K. \quad (2)$$

Откуда при равенстве p и d имеем:

$$\text{ЧДЭС} = \frac{c_{\text{т0}} \cdot (Q_0 - Q_1)}{(1+p)} \cdot T_0 - K. \quad (3)$$

По полученной формуле (3) проведены дополнительные расчеты суммарной ЧДЭС (таблица 2) для $p=d=15\%$ и $p=d=16\%$, а также для $p=16\%$; $d=15\%$ и $p=15\%$; $d=16\%$ по формуле (1). В дополнение к таблице 2 построены кривые изменения ЧДЭС в зависимости от года активной фазы для указанных выше сочетаний p и d с неравными их значениями (рисунок 3).

Таблица 2 - ЧДЭС при термомодернизации жилых зданий рассматриваемой группы в зависимости от нормы дисконта ($p = 15; 16\%$) и темпа роста тарифов на тепловую энергию ($d=15; 16\%$)

		Норма дисконта, p	
		0,15	0,16
Темпы роста тарифов на тепловую энергию, d	0,15	<u>186 489 004</u>	<u>45 908 995</u>
		0,00	18,36
	0,16	<u>383 903 610</u>	<u>180 150 239</u>
		3,3	0,00

Примечание: в знаменателе показано Δu_i – превышение ЧДЭС в % над её величиной, полученной при наихудшей последовательности реализации термомодернизации

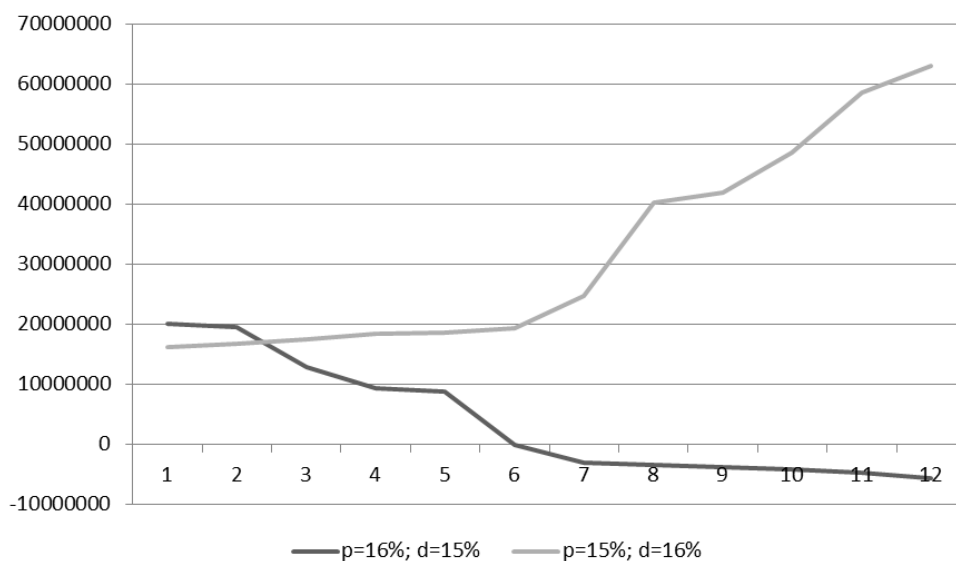


Рисунок 3 – Изменение значения ЧДЭС_г для каждого года активной фазы при различных значениях нормы дисконта p и темпа роста тарифов на тепловую энергию d

Анализируя рисунок 3, выявлено, что при $p = 0,15$ и $d = 0,16$, т.е. при $p < d$, имеем восходящий тренд, т.е. каждая модернизируемая впоследствии после начала реализации программы термомодернизации подгруппа зданий будет приносить все большую (возрастающую) экономию средств. И, наоборот, при $p = 0,16$ и $d = 0,15$, т.е. при $p > d$, имеем нисходящий тренд, опускающийся ближе к середине активной фазы ниже нуля или, иначе говоря, до уровня нерентабельности.

Выявленные закономерности очень наглядно показаны на рисунке 4, на котором ЧДЭС представлена в виде изолиний зависимости от p и d . Пунктирная линия на рисунке представляет собой совокупность равных значений p и d . Видно, что область рентабельности располагается как выше нее, так и ниже, до следующей сплошной заливки, которая определяет область нерентабельности. Однако поведение ЧДЭС в этих областях разное, как описано нами выше. По сути, совокупности значений p и d , расположенные ниже пунктира, превращают процесс термомодернизации рассматриваемой группы зданий в процесс не совсем экономически здоровый, но ещё позитивный.

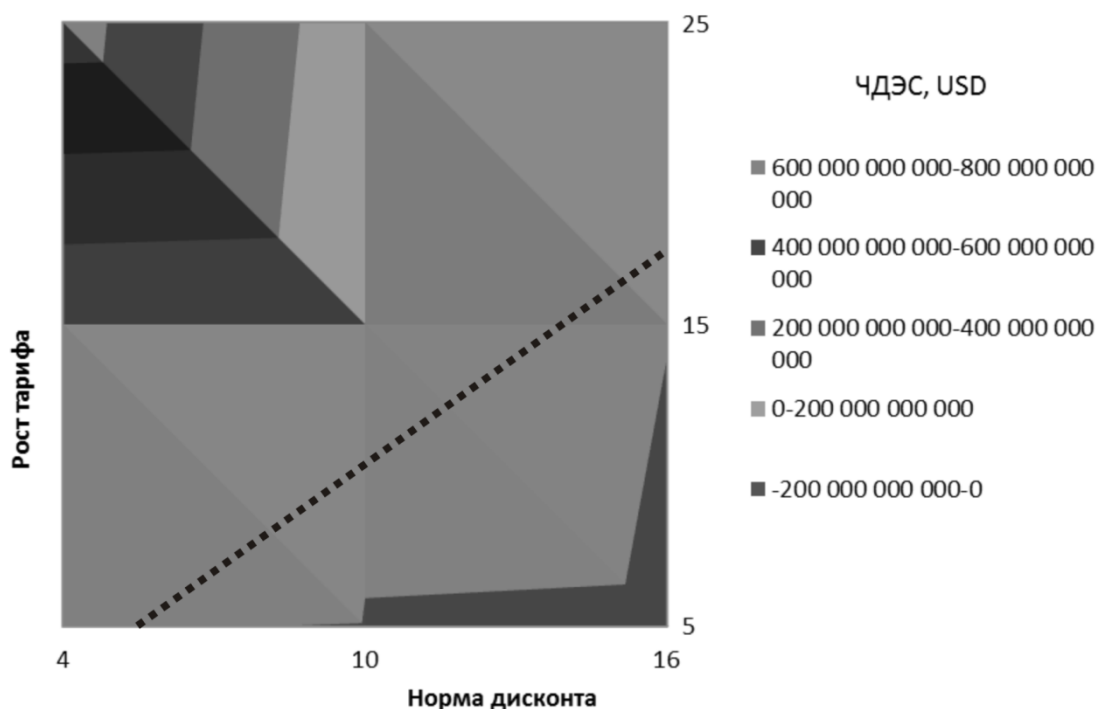


Рисунок 4 - Изолинии зависимости ЧДЭС от нормы дисконта p (%) и темпа роста тарифов на тепловую энергию d (%)

Развивая закономерности из рисунка 3, можно сделать также следующий практический вывод. При $p < d$ выгодно сначала модернизировать дома, дающие минимальную экономию средств, а потом — максимальную.

К сожалению, не выявлено обратной закономерности для условия $p > d$, т.е. однозначного утверждения, что при $p > d$ выгодно было бы сначала модернизировать дома, дающие максимальную экономию средств, а потом — минимальную, не получено. В последнем случае на такой вывод наводит факт, что дома, модернизируемые после 5 года активной фазы реализации термомодернизации, дают только убыток, и в конечном итоге вся программа выходила бы на плюс только благодаря домам, модернизируемым в первые 5 лет. Но целесообразность выполнения программы термомодернизации в этом случае весьма сомнительна и требует тщательной проверки. Эту неустойчивую ситуацию нам не удалось описать какой-то закономерностью.

На следующем этапе анализировались превышения Δy_i , характеризующие вклад оптимальной последовательности реализации проекта термомодернизации в суммарную величину ЧДЭС. В результате выявлено (таблицы 1 и 3), что при положительных значениях ЧДЭС для пар значений d и p , которые связаны условием $p < d$, превышение Δy_i повышается с увеличением темпа роста тарифов на тепловую энергию d и снижается при увеличении нормы дисконта p . При равных значениях параметров, т.е. при $p = d$, вклад оптимальной последовательности термомодернизации группы жилых зданий, выраженный нами в виде Δy_i , равен нулю. Выявленную закономерность иллюстрирует наибольшее значение превышения ($\Delta y_i = 26,58\%$), выявленное при $d = 0,25$ и $p = 0,04$. Та же самая закономерность наблюдается для всех пар значений параметров, связанных соотношением $p < d$. Наоборот, при $d = 0,15$ и $p = 0,16$ ($p > d$) величина Δy_i составляет 18,36% и нарушает описанную закономерность.

Таблица 3 - ЧДЭС при термомодернизации жилых зданий рассматриваемой группы в зависимости от p , d и превышение $\Delta y_i, \%$

		Норма дисконта, p				
		0,04	0,10	0,15	0,16	0,20
Темпы роста тарифов на тепло-вую энергию d	0,05	<u>517 583 807</u> 3,05	<u>-250 443 680</u> 5,82	---	<u>-391 621 022</u> 0,61	---
	0,15	<u>23 110 421 140</u> 15,49	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>186 489 004</u> 0,00	<u>45 908 995</u> 18,36	<u>-254 713 828</u> 5,15
	0,16	---	---	<u>383 903 610</u> 3,3	<u>180 150 239</u> 0,00	<u>-207 525 013</u> 6,67
	0,20	---	---	<u>2 118 610 610</u> 8,43	---	<u>155 851 640</u> 0,00
	0,25	<u>691 695 602 671</u> 26,58	<u>64 524 234 160</u> 19,06	---	<u>7 538 695 732</u> 12,12	<u>1 860 629 957</u> 8,36

Для объяснения выявленной закономерности отметим, что величина Δy_i показывает в сущности максимальный эффект от оптимизации последовательности термомодернизации группы зданий рассматриваемого градостроительного образования. Иными словами, дает ответ на вопрос - как много мы сможем дополнительно сэкономить, если будем оптимизировать последовательность реализации программы, а не только параметры тепловой защиты зданий.

Опираясь на формулу (1) для расчета ЧДЭС, можем с уверенностью говорить, что чем d больше превосходит p , тем круче восходящая кривая изменения ЧДЭС (рисунок 3). Площадь под этой кривой эквивалентна суммарному значению ЧДЭС от реализации всей программы. Отметим, что большое значение d и малое p свидетельствуют о хороших экономических условиях для реализации термомодернизации и ее окупаемости. В ситуации, когда экономические условия непрерывно улучшаются, растет величина суммарной ЧДЭС, а эффект от оптимизации последовательности модернизации зданий (Δy_i) не только сохраняется, но и увеличивается, подтверждая практическую полезность выполненной оптимизации.

Обратная картина наблюдается при плохих экономических условиях ($p > d$), когда проблематично не то, чтобы получить доход от всей программы, превышающий затраты на нее, а затруднительно даже просто окупить расходы. Тогда алгоритм оптимизации, заложенный в модели, начинает всеми возможными способами пытаться вывести программу "в плюс". Для этого перебираются все доступные варианты значений оптимизируемых факторов. В некоторых ситуациях положительную ЧДЭС удастся получить путем снижения уровня тепловой защиты, а также беспорядочной перестановкой зданий в ряду последовательности при малейших колебаниях рассматриваемых начальных условий. Причем, чем хуже закладываемая в модель исходная экономическая ситуация, тем более неожиданным получается результат. Такую ситуацию следует характеризовать как экономически неустойчивую для проведения термомодернизации, а процесс поиска оптимальных параметров как случайный.

Можно ожидать, что в результате расчетов по модели при различных сочетаниях p и d , соответствующих условию $p > d$, практически всегда будут иметь место отличающиеся опти-

мальные последовательности реализации модернизации группы зданий, оптимальные параметры теплозащиты, которые чаще всего принимаются на нижнем уровне, а также в подавляющем большинстве случаев величина ЧДЭС будет отрицательной, что и будет продемонстрировано нами ниже.

Следующим шагом явилось рассмотрение оптимальной группировки зданий в различных вариантах последовательности термомодернизации группы жилых зданий (фактор X_7) при изменении рассматриваемых макроэкономических показателей. В работе [5] для условий $d = 0,15$ и $p = 0,10$ была представлена оптимальная последовательность термомодернизации в виде гистограммы, на которой установлены типы и количество зданий, подлежащие термомодернизации в соответствующий год активной фазы. Для установления зависимости группировки зданий от начальных условий d и p построены аналогичные гистограммы для следующих значений: гистограмма 1: $d = 0,15$ и $p = 0,04$; гистограмма 2: $d = 0,15$ и $p = 0,16$; гистограмма 3: $d = 0,16$ и $p = 0,15$; гистограмма 4: $d = 0,25$ и $p = 0,10$; гистограмма 5: $d = 0,16$; $p = 0,20$; и гистограмма 6: $d = 0,25$; $p = 0,20$.

Сравнение этих гистограмм с представленной в работе [5] позволяло ответить на вопросы, связанные с влиянием начальных условий, касающихся d и p , на оптимальную группировку зданий по годам с учетом их типа и количества.

В результате выполненных расчетов и построений, а также проведенного анализа, выявлено, что для всех выбранных выше сочетаний начальных условий, при которых $p < d$, получены полностью одинаковые гистограммы и, соответственно, группировки зданий в оптимальной последовательности их термомодернизации, что и показано на рисунке 5. При этом распределение типов и количества зданий по годам активной фазы на рисунке 5 полностью совпадает с распределением, полученным в оптимальной последовательности для начальных данных в работе [5]. Полное совпадение гистограмм в этом случае означает также и то, что при изменении рассматриваемых начальных условий при соблюдении условия $p < d$ наблюдается сохранение выявленной ранее закономерности группировки типов и числа зданий по годам активной фазы, которую удобно описывал показатель снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $\Delta q_{от}$. Следовательно, для данной ситуации также подтвердилось предположение, что чем ниже значение показателя $\Delta q_{от}$ для рассматриваемого типа здания, тем ранее этот тип здания следует выбирать для проведения термомодернизации.

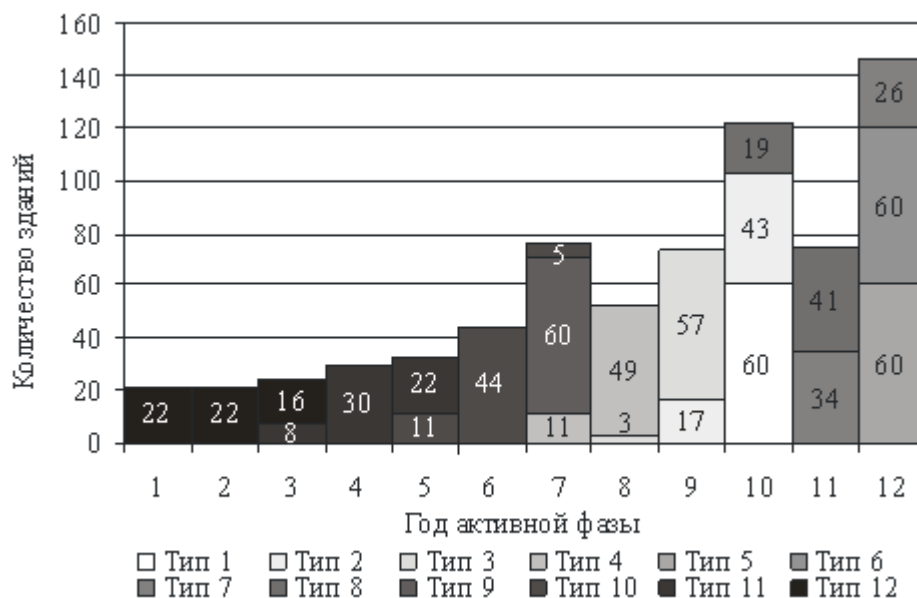


Рисунок 5 - Оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий при 1) $d = 0,15$ и $p = 0,04$; 3) $d = 0,16$ и $p = 0,15$; 4) $d = 0,25$ и $p = 0,10$; 6) $d = 0,25$; $p = 0,20$

Не менее интересным, хотя и менее продуктивным, оказался анализ последовательности группировки термомодернизируемых зданий для начальных условий $p > d$ при положительных значениях ЧДЭС (для ЧДЭС < 0 анализ не проводился из-за отсутствия экономического смысла реализации термомодернизации).

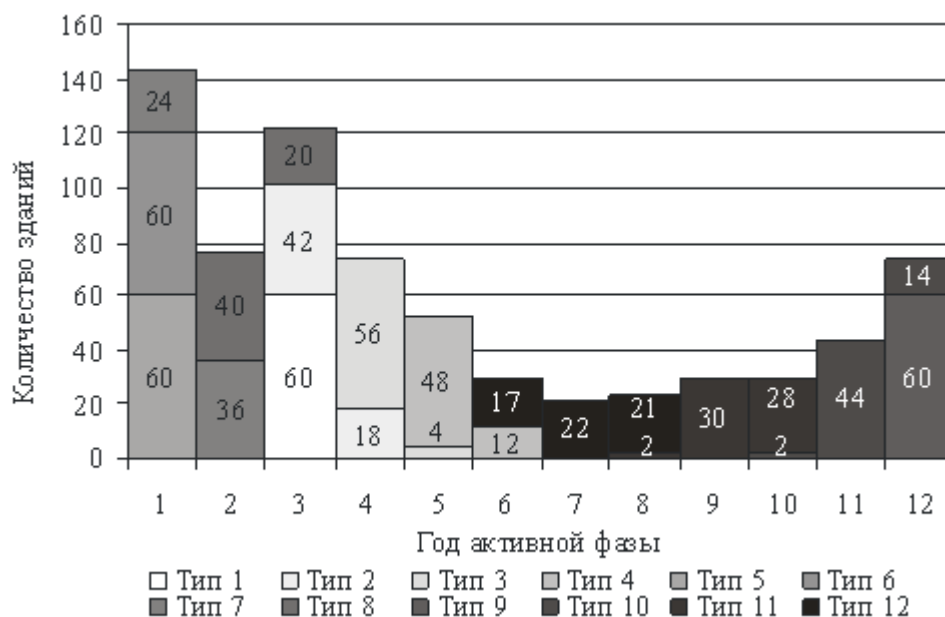


Рисунок 6 - Оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий при 2) $d = 0,15$ и $p = 0,16$ ($p > d$)

Многочисленные расчеты на модели показали, что для каждой пары значений d и p при условии $p > d$ оптимальные последовательности группировки термомодернизируемых зданий постоянно менялись. Два из таких вариантов последовательности представлены на рис. 6 ($d = 0,15$ и $p = 0,16$) и рис. 7 ($d = 0,16$; $p = 0,20$). Обе эти последовательности существенным образом отличаются от гистограммы, представленной на рисунке 5.

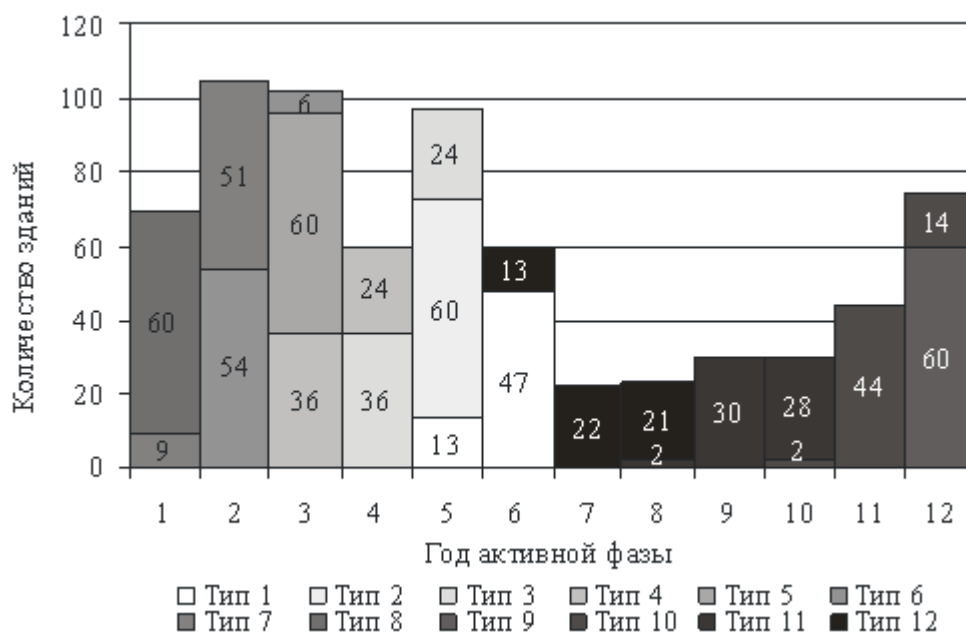


Рисунок 7 - Оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий при 5) $d = 0,16$; $p = 0,20$ ($p > d$)

Подтвердилось наше предположение о том, что в экономически неустойчивой ситуации, когда $p > d$ и кривые изменения ЧДЭС во времени имеют нисходящий тренд (подобно как на рисунке 3), поиск оптимальной последовательности дает всякий раз случайный результат в виде постоянно меняющихся вариантов. В такой ситуации описать закон распределения зданий в полученной оптимальной последовательности их модернизации с помощью показателя $\Delta q_{от}$ не представлялось возможным. Этот показатель в данных случаях изменялся весьма случайным образом. Главным фактором, вызывающим его случайные изменения, являлся оптимизационный алгоритм, заложенный в модели.

Таким образом, получен очередной важный практический вывод о том, что колебания макроэкономических показателей p и d при условии $p < d$ не влияют на группировку зданий в оптимальной последовательности реализации термомодернизации группы зданий. В противном случае, когда $p > d$, данное влияние проявляется в полной мере, но носит при этом стохастический характер.

В завершение анализа оценивалось влияние изменения рассматриваемых макроэкономических показателей d и p при условии $p < d$ на оптимальные значения $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0, X_5^0, X_6^0$ факторов, характеризующих параметры тепловой защиты каждого типа зданий. С этой целью составлена таблица 4, в которой представлены оптимальные значения факторов в зависимости от анализируемых пар значений d и p при условии $p < d$.

Таблица 4 - Оптимальные значения факторов $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0, X_5^0, X_6^0$, характеризующих тепловую защиту термомодернизируемых жилых зданий, при изменении начальных условий d и p ($p < d$).

Факторы влияния	$d=0,16$ и $p=0,15$	$d=0,25$ и $p=0,20$	$d=0,15$ и $p=0,04$			$d=0,25$ и $p=0,10$		$d=0,25$ и $p=0,04$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Годы активной фазы реализации программы	1-12 год	1-12 год	1 год	2-11 год	12 год	1-3 год	4-12 год	4-12 год
Тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор X_1)	Тип №3	Тип №3	Тип №2	Тип №2	Тип №1	Тип №2	Тип №1	Тип №1
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен $\delta_{стен}^{доп}$ (фактор X_2), м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Сопротивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и балконных заполнений термомодернизируемого здания $R_{ок}^{new}$ (фактор X_3)	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_4)	Тип №3	Тип №2	Тип №2	Тип №1	Тип №1	Тип №1	Тип №1	Тип №1
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия $\delta_{черд}^{доп}$ (фактор X_5), м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа $\delta_{цок}^{доп}$ (фактор X_6), м	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Анализируя данные таблицы 4, удалось выявить, что некоторые факторы (X_1, X_4) изменяют свои оптимальные значения (X_1^0, X_4^0) при колебании параметров p и d (при $p < d$), определяющих экономические условия термомодернизации. При чем их изменение непостоянно во времени активной фазы реализации программы.

Данные в таблице 4 выстроены таким образом, что при переходе от одного сочетания p и d к другому экономические условия улучшаются, и растет показатель качества оптимизации последовательности Δu_i .

Установлено, что при росте разницы между показателями ($d - p$) произошло последовательное изменение оптимального значения фактора X_1^0 , а именно, замена системы дополнительной теплоизоляции наружных стен с типа №3 сначала на тип №2, а затем и на тип №1.

Поясним, что система типа №3 предполагает утепление по системе вентилируемого фасада с облицовкой из алюминиевых композитных панелей (коэффициент теплотехнической однородности 0,7) и с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки изовент (90 кг/м³; 0,042 Вт/(м²·°C)) фирмы «ISOROC», со сроком службы утеплителя в конструкции равным 40 годам. Система типа №2 предполагает утепление по системе «мокрого» фасада (коэффициент теплотехнической однородности 0,9) с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки изовент (90 кг/м³; 0,042 Вт/(м²·°C)) фирмы «ISOROC» со сроком службы утеплителя в конструкции равным 20 годам. Система №1 предусматривает утепление по системе «мокрого» фасада (коэффициент теплотехнической однородности 0,9) с использованием в качестве материала утеплителя плит из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс С» (25...32 кг/м³; 0,031 Вт/(м²·°C)) с противопожарными вставками (30%) из минераловатных плит марки изовент (90 кг/м³; 0,042 Вт/(м²·°C)) фирмы «ISOROC» со сроком службы утеплителя в конструкции равным 10 годам.

Для объяснения изменений типов дополнительной теплоизоляции в оптимальном варианте в дополнение к приведенному описанию систем утепления принималось во внимание, что стоимость устройства системы отопления типа №3 составляет 120 долл. США/м², что примерно в 1,5 раза выше, чем типа №2 (80 долл. США/м²). Тип №1 в свою очередь со стоимостью 80 долл. США/м² не отличается от типа №2.

Из сравнения представленных типов видно, что при равной толщине утеплителя наибольшую экономию тепла дает тип №1, так как обладает большей теплотехнической однородностью и лучшими теплоизолирующими свойствами. Одновременно с этим тип №1 является наименее долговечным. Тип №2 находится на втором месте по соотношению этих качеств, а тип №3 на последнем. Следовательно, в умеренно позитивных экономических условиях предпочтение следует отдавать наиболее долговечным теплозащитным мероприятиям. По мере роста величины d относительно p преимущество постепенно переходит от позиции долговечности к теплозащитным качествам, которые в конечном итоге полностью определяют выбор оптимального конструктивного решения. Не вызывает сомнений, что в случае снижения разницы ($d - p$) при соблюдении условия $p < d$ будет наблюдаться обратная ситуация.

Приблизительно такая же закономерность наблюдалась и в отношении оптимального значения фактора X_4^0 – материала утеплителя в конструкции покрытия.

Поясним, что материал типа №1 – плиты из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс К» (28...33 кг/м³; 0,031 Вт/(м²·°C)) со сроком службы в конструкции равным 10 годам. Материал типа №2 представляет собой минераловатные плиты марки «Изоруп» (150 кг/м³; 0,043 Вт/(м²·°C)) фирмы «ISOROC» со сроком службы в конструкции равным 20 лет и стоимостью примерно равной стоимости материала типа №1. Тип №3 – пеностекло (130...190 кг/м³; 0,08 Вт/(м²·°C)) со сроком службы в конструкции равным 40 годам и стоимостью приблизительно на 20% дороже типа №2.

С учетом описания типов материалов и данных таблицы 4 можно утверждать, что динамика изменения фактора X_4^0 носит аналогичный фактору X_1^0 характер и имеет подобную интерпретацию.

Результатом анализа является также важный практический вывод о том, что изменение начальных условий в виде значений макроэкономических показателей p и d , связанных условием $p < d$, влияет на оптимальные значения некоторых факторов, характеризующих параметры тепловой защиты типов зданий и относящихся к выбору системы утепления наружных стен и типа материала дополнительной изоляции в покрытии. При этом наблюдается взаимно

противоположный характер изменения оптимальных значений факторов при колебаниях разницы ($d - p$) в ту или иную сторону.

Для конфронтации данных в анализе представлены результаты изучения влияния изменения рассматриваемых макроэкономических показателей d и p при условии $p > d$ на оптимальные значения $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0, X_5^0, X_6^0$ факторов, характеризующих параметры тепловой защиты каждого типа зданий. С этой целью составлена таблица 5, в которой представлены оптимальные значения факторов в зависимости от анализируемых пар значений d и p . Для удобства анализа результаты оптимизации параметров тепловой защиты последовательно выстроены в таблице 5 по степени ухудшения начальных экономических условий.

Несмотря на то, что детальный анализ таблицы 5 не имеет практического смысла по причине либо отрицательных значений величины суммарной ЧДЭС, либо положительных, но близких к нулю, установлен принципиально иной характер формирования оптимальных сочетаний параметров теплозащитных качеств в складывающихся экономических условиях.

Таблица 5 - Оптимальные значения факторов $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0, X_5^0, X_6^0$, характеризующих тепловую защиту термомодернизируемых жилых зданий, при изменении начальных условий d и p (при $p > d$)

Факторы влияния	$d=0,15$ и $p=0,16$		$d=0,16$ и $p=0,20$			$d=0,05$ и $p=0,16$	
	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
Годы активной фазы реализации программы	1-2 год	3-12 год	1-6 год	7-10 год	11-12 год	1-2 год	3-12 год
Тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор X_1)	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен $\delta_{стен}^{доп}$ (фактор X_2), м	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05
Соппротивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и балконных заполнений термомодернизируемого здания $R_{ок}^{new}$ (фактор X_3)	0,71	0,71	0,71	0,71	0,54	0,54	0,54
Тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_4)	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3	Тип №3
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия $\delta_{черд}^{доп}$ (фактор X_5), м	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа $\delta_{цок}^{доп}$ (фактор X_6), м	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05

Если при $p < d$ выбор осуществлялся между долговечными и наиболее теплозащитными мероприятиями, то при $p > d$ оптимальность коррелирует с удешевлением, сопряженным с максимальной долговечностью и минимальной теплоизолирующей способностью.

Таким образом, на основании результатов расчетов и проведенного анализа получена практически полезная информация о влиянии макроэкономических показателей d и p на:

- величину ЧДЭС от реализации программы термомодернизации;
- превышение оптимальной ЧДЭС над её минимальной величиной Δu_i ;
- оптимальные значения факторов $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0, X_5^0, X_6^0, X_7^0$.

Выявлено, что закономерность группировки числа и типов зданий по годам программы (последовательность термомодернизации) при условии $p < d$ тесно коррелирует с показателем снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $\Delta q_{от}$. Подтвердилось, что чем ниже значение показателя $\Delta q_{от}$ для рассматриваемого типа здания, тем ранее этот тип здания следует выбирать для проведения термомодернизации. Иначе говоря, для оптимальной последовательности термомодернизации при условии $p < d$ выбор типов зданий по годам всего периода активной фазы выполняется в строгом соответствии с величиной показателя $\Delta q_{от}$: чем ниже значение показателя $\Delta q_{от}$ для рассматриваемого типа здания, тем ранее этот тип здания выбирается для выполнения термомодернизации.

Однако при условии $p > d$ эффективность реализации программы термомодернизации резко снижается до уровня убыточности. Положительный уровень ЧДЭС в первые годы реализации программы термомодернизации, превышающий пороговый уровень рентабельности, позднее сопровождается резким спадом и переходит в отрицательную область, зачастую характеризуя общий процесс термомодернизации как нерентабельный. Для такой ситуации описать закон распределения зданий в оптимальной последовательности их модернизации с помощью показателя $\Delta q_{от}$ не представлялось возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин, С.А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов [Текст] / С.А. Болотин, А.Х. Дадар, М.А. Котовская // Инженерно-строительный журнал. - 2013. - №7(42). - С. 51–57.
2. Езерский, В.А. Влияние параметров тепловой защиты здания на удельный расход тепловой энергии [Текст] / В.А. Езерский, П.В. Монастырев, Р.Ю. Клычников // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 43–45.
3. Езерский, В.А. Оптимизация параметров тепловой защиты здания по экономическому критерию [Текст] / В.А. Езерский, П.В. Монастырев, Р.Ю. Клычников // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №3. С.13–16.
4. Клычников, Р.Ю. Эффективность термомодернизации жилых зданий при кратковременных экономических кризисах / Р.Ю. Клычников, П.В. Монастырев, В.А. Езерский // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. - 2015. – Выпуск 14. – С.116–130.
5. Езерский, В.А. Последовательность термомодернизации жилых зданий и её влияние на экономическую эффективность [Текст] / В.А. Езерский, П.В. Монастырев, Р.Ю. Клычников // Жилищное строительство. - 2015. - № 6. - С. 29–32
6. Козлов, В.В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий [Текст] / В.В. Козлов // Строительные материалы. - 2013. - №6. - С. 10–13.
7. Рифкин, Д. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. [Текст] / Д. Рифкин ; пер. с англ. – М : Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.
8. Самарин, О.Д. Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий образовательных учреждений [Текст] / О.Д. Самарин // Жилищное строительство. 2015. №2. с. 25–28.
9. Шеина, С.Г. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве [Текст] / С.Г. Шеина, А.Н. Миненко // Инженерный вестник Дона. - 2012. - Т. 22. - № 4-1 (22). - С. 133.
10. Шеина, С.Г. Методика выбора организационно-технологических ресурсосберегающих решений в жилищном строительстве по многокритериальной системе оценки [Текст] / С.Г. Шеина, А.Н. Миненко // Жилищное строительство. - 2016. - № 6. - С. 42–45.

Клычников Роман Юрьевич

Автономная некоммерческая организация «Тамбовский центр судебных экспертиз», г. Тамбов

Кандидат технических наук, строительно-технический и землеустроительный эксперт

E-mail: kirza_soft@mail.ru

Езерский Валерий Александрович

Белостокский технический университет, г. Белосток (РП Польша)

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основы строительства и защита зданий»

E-mail: wiz75micz@rambler.ru

Монастырев Павел Владиславович

ФГБОУВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Доктор технических наук, профессор, директор института Архитектуры, Строительства и Транспорта

E-mail: monastyrev68@mail.ru

R.YU. KLYCHNIKOV, V.A. EZERSKY, P.V. MONASTYREV

OPTIMIZATION OF THERMOMODERNIZATION OF A GROUP OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN DIFFERENT MACROECONOMIC CONDITIONS

The influence of macroeconomic conditions on the total value of potentially achievable monetary savings due to the planning of large-scale programs for thermal retrofit of groups of residential buildings is described. Various combinations of the discount rate and bills rates for thermal energy, which are rep-

representative of different economic conditions, have been studied. The expediency of optimizing the thermal retrofit of groups of residential buildings is estimated. Economic criteria for cost-efficiency of the implementation of such programs are shown and the conditions for their profitability are found. Optimum values of thermal performance factors corresponding to different combinations of economic conditions were obtained. Optimal ranking of thermal retrofit of residential buildings for the studied values of the discount rate and bills rates have been found. The influence of the considered conditions on the optimal parameters of thermal performance and the rule of ranking of thermal retrofit of the residential group buildings are found.

Key words: thermal retrofit, thermal performance, optimization, discount rate, bills rate, cost-efficiency.

REFERENCES

1. Bolotin, S.A. Model' prostranstvenno-vremennoy analogii v optimizatsii posledovatel'nosti rekonstruiyemykh ob"yektov [Tekst] / S.A. Bolotin, A.KH. Dadar, M.A. Kotovskaya // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2013. - №7(42). - S. 51-57.
2. Yezerskiy, V.A. Vliyaniye parametrov teplovoy zashchity zdaniya na udel'nyy raskhod teplovoy energii [Tekst] / V.A. Yezerskiy, P.V. Monastyrev, R.YU. Klychnikov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2010. № 1. S. 43-45.
3. Yezerskiy, V.A. Optimizatsiya parametrov teplovoy zashchity zdaniya po ekonomicheskomu kriteriyu [Tekst] / V.A. Yezerskiy, P.V. Monastyrev, R.YU. Klychnikov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2010. №3. S.13-16.
4. Klychnikov, R.YU. Effektivnost' termomodernizatsii zhilykh zdaniy pri kratkovremennykh ekonomicheskikh krizisakh / R.YU. Klychnikov, P.V. Monastyrev, V.A. Yezerskiy // Vestnik Tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya RAASN. - 2015. - Vypusk 14. - S.116-130.
5. Yezerskiy, V.A. Posledovatel'nost' termomodernizatsii zhilykh zdaniy i yeyo vliyaniye na ekonomicheskuyu effektivnost' [Tekst] / V.A. Yezerskiy, P.V. Monastyrev, R.YU. Klychnikov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2015. - № 6. - S. 29-32
6. Kozlov, V.V. Osnovy optimizatsii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktivnykh po okupayemosti energosberegayushchikh meropriyatiy [Tekst] / V.V. Kozlov // Stroitel'nyye materialy. - 2013. - №6. - S. 10-13.
7. Rifkin, D. Tret'ya promyshlennaya revolyutsiya: Kak gorizontallye vzaimodeystviya menyayut energetiku, ekonomiku i mir v tselom. [Tekst] / D. Rifkin ; per. s angl. - M : Al'pina non-fikshn, 2014. - 410 s.
8. Samarin, O.D. Vybory optimal'nogo sochetaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri rekonstruktsii zdaniy obrazovatel'nykh uchrezhdeniy [Tekst] / O.D. Samarin // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2015. №2. s. 25-28.
9. Sheina, S.G. Razrabotka algoritma vybora energoeffektivnykh resheniy v stroitel'stve [Tekst] / S.G. Sheina, A.N. Minenko // Inzhenernyy vestnik Dona. - 2012. - T. 22. - № 4-1 (22). - S. 133.
10. Sheina, S.G. Metodika vybora organizatsionno-tekhnologicheskikh resursosberegayushchikh resheniy v zhilishchnom stroitel'stve po mnogokriterial'noy sisteme otsenki [Tekst] / S.G. Sheina, A.N. Minenko // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2016. - № 6. - S. 42-45.

R.Yu. Klychnikov

Autonomous non-commercial organization "Tambov Center for Forensic Expertise", Tambov
Candidate of Technical Science, Construction, Technical and Land Management Expert
E-mail: kirza_soft@mail.ru

V.A. Ezerskiy

Belostok Technical University, Belostok, Poland
Doctor of Technical Science, Prof., Head of the Basics of Construction and Protection of Buildings Department
E-mail: wiz75micz@rambler.ru

P.V. Monastyrev

Tambov State Technical University, Tambov
Doctor of Technical Science, Prof., Director of Architecture, Building and Transport Institute
E-mail: monastyrev68@mail.ru

КОЧЕРГИН Ю.С., ПОПОВА О.С., ГРИГОРЕНКО Т.И.

СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКАМИ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

В широком интервале концентраций исследовано влияние нанопорошков диоксидов циркония на деформационно-прочностные, адгезионные, трибологические и теплофизические свойства эпоксидных полимеров на основе промышленной смолы ЭД-20. В качестве нанопорошков использовали несколько видов диоксида циркония с разной термической предысторией, отличающихся размерами частиц и удельной поверхностью, фазовым составом и наличием легирующей добавки – оксида иттрия. Установлена резкая зависимость комплекса свойств от температуры прокаливания вводимого порошка. Более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков с температурой прокаливания 500 °С связаны с меньшим размером частиц и большей их удельной поверхностью по сравнению с порошками, полученными при 700 °С. Легирование порошка диоксида циркония оксидом иттрия обеспечивает увеличение модуля упругости и прочности при сжатии.

Ключевые слова: эпоксидный полимер, нанопорошок диоксида циркония, режим отверждения, деформационно-прочностные, трибологические, теплофизические, адгезионные свойства

Введение

В последнее время значительный интерес исследователей сосредоточен на получении полимерных нанокомпозитов. Такие материалы отличаются уникальными электрическими, физико-механическими, триботехническими и другими свойствами [1-20]. В частности, в работах [13-20] показано, что введение 10 – 15 масс. % оксидов и нитридов переходных металлов со средним размером 100 нм и удельной поверхностью 40-50 м²/г позволяет снизить коэффициент трения и существенно повысить износостойкость политетрафторэтилена [13-15], полиакриловых композиций [16], полиамида [17] и др. полимеров [18-20].

Цель и методика исследований

В свете изложенного цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния нанопорошков диоксидов циркония (ZrO₂) на деформационно-прочностные, адгезионные, трибологические и теплофизические свойства эпоксидных полимеров.

В качестве объектов исследования была выбрана промышленная диановая смола ЭД-20. Отвердителем служил полиоксипропилентриамин марки Т-403 производства компании Huntsman Chemicals.

В качестве нанопорошков использовали несколько видов диоксида циркония (табл. 1) с разной термической предысторией, отличающихся размерами частиц и удельной поверхностью, фазовым составом и наличием легирующей добавки – оксида иттрия (3 мольных %).

Таблица 1 – Размеры и фазовый состав нанопорошков

Химический состав	Температура прокаливания, °С	$D_{sca}^{1)}$, нм	$S_{вет}^{2)}$, м ² /г	Фазовый состав (тетрагональная фаза/моноклинная фаза), %
ZrO ₂	500	9,1	60	23/77
	700	23,2	31	9/91
ZrO ₂ +3Y ₂ O ₃ ²⁾	500	9,3	85	100/0
	700	14,1	36	100 ³⁾ /0

¹⁾ D_{sca} – область когерентного рассеяния рентгеновских лучей;

²⁾ порошок ZrO₂, легированный 3 мол. % Y₂O₃; ³⁾ для Y₂O₃.

Получение нанопорошков осуществляли методом осаждения гидроксида из раствора азотнокислой соли водным раствором аммиака. Осадок многократно промывали для удаления побочных продуктов реакции. В этом состоянии и после сушки гидроксид циркония имел аморфную структуру. С целью получения частиц разных размеров проводилось прокаливание в печи СНОЛ при 500 и 700 °С. Размеры частиц (D_{sca}) определяли методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии. Удельную поверхность ($S_{вет}$) определяли по методу адсорбции азота, основанному на уравнении БЭТ [21].

Отверждение композиций проводили по режимам I (22 °С / 240 ч) и II (22 °С / 24 ч + 120 °С / 3 ч).

Адгезионную прочность клеевых соединений образцов (Ст. 3) при сдвиге (τ_v) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и 14760-69 соответственно. Предел текучести ($\sigma_{сж}^T$) и разрушающее напряжение ($\sigma_{сж}^P$) при сжатии измеряли по ГОСТ 4651-82.

Показатель истирания (I) определяли по ГОСТ 11012-69. Сущность метода заключается в определении уменьшения объема образца в кубических миллиметрах в результате истирания (износа) на 1 м пути истирания шлифовальной шкуркой. Испытания проводили на машине типа APGI (производство ФРГ). Нагрузка на образец составляла 1 кг, длина пути истирания образца – 10 м (25 оборотов цилиндра машины).

Предельные механические свойства при одноосном растяжении (прочность при растяжении σ_p и деформацию при разрыве ϵ_p) измеряли на динамометре Поляни [22]. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой напряжение – деформация ($\sigma - \epsilon$). Мерой работы разрушения (A_p) служила площадь под кривой $\sigma - \epsilon$. Объекты исследования деформационно-прочностных свойств представляли собой пленки толщиной ~ 100 мкм, полученные при отверждении композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытым тонким слоем антиадгезива.

Тепловой эффект реакции отверждения (Q) и характерные температуры начала отверждения (T_n) и максимальной скорости отверждения (T_m) определяли на блоке ДСК термоаналитического комплекса Du Pont 9900. Образец массой ~ 10 мг помещался в алюминиевый поддон в открытом виде и подвергался нагреванию до 230 °С со скоростью 10 °С/ мин.

Экспериментальная часть

В табл. 2 приведены результаты исследования влияния нанопорошков с разной температурой прокаливания ($T_{пр}$) на свойства эпоксидных полимеров (ЭП). Видно, что при увеличении $T_{пр}$ вводимого порошка с 500 до 700 °С наблюдается значительное уменьшение параметров σ_p , ϵ_p , E и A_p . В то же время величины $\sigma_{сж}^T$, τ_v и I изменяются весьма мало. Легирование порошка ZrO_2 оксидом иттрия ($T_{пр}=500$ °С) ощутимо сказывается на значениях модуля упругости и $\sigma_{сж}^P$ (в сторону их увеличения) и ϵ_p , A_p , I (в сторону их снижения). При увеличении $T_{пр}$ легированных нанопорошков имеют место те же тенденции изменения свойств ЭП, что и для нелегированных наполнителей, но достигаемые при этом значения параметров ϵ_p и A_p существенно выше.

Более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков с температурой прокаливания 500 °С, очевидно, могут быть связаны как с меньшим размером частиц (табл. 1), так и (что более вероятно) большей их удельной поверхностью по сравнению с порошками, полученными при 700 °С. Как следует из рис. 1 и 2, концентрационные зависимости деформационно-прочностных свойств имеют экстремальный характер. При этом максимумы прочности и модуля упругости (рис. 1) проявляются при содержании наполнителя ~ 12 масс. ч., а само значение σ_p в точке максимума превосходит величину прочности базового (не содержащего наполнителя) образца более, чем в 2 раза. Модуль упругости при введении ZrO_2 возрастает в 1,81 и 1,65 раза соответственно для образцов, отвержденных по режимам I и II.

Таблица 2 - Зависимость свойств эпоксидных полимеров от химического состава нанопорошка и температуры прокаливания

Химический состав нанопорошка ¹⁾	Температура прокаливания, °C	σ_p , МПа	ε_p , %	E, ГПа	A_p , кДж/м ²	$\sigma_{ок}^T$, МПа	$\sigma_{ок}^P$, МПа	τ_b , МПа	I , мм ³ /м	ρ , кг/м ³	$I^*=(I \cdot \rho) \cdot 10^6$, кг/м
ZrO ₂	500	<u>70,8</u> ²⁾ 105,8	<u>6,5</u> 5,7	<u>1,41</u> 2,03	<u>3,72</u> 4,84	= 81	= 136	<u>21,8</u> 25,9	<u>15,2</u> 8,7	<u>1184,2</u> 1195,4	<u>18,0</u> 10,4
	700	<u>30,3</u> 33,5	<u>2,3</u> 3,0	<u>1,15</u> 1,20	<u>0,56</u> 0,81	= 83	= 163	<u>22,4</u> 23,8	<u>14,8</u> 11,7	<u>1202,7</u> 1188,0	<u>17,8</u> 13,9
ZrO ₂ +3 % Y ₂ O ₃	500	<u>84,2</u> 104,1	<u>4,8</u> 4,6	<u>1,91</u> 2,55	<u>3,16</u> 3,83	= 82	= 171	<u>20,7</u> 24,3	<u>14,1</u> 12,4	<u>1000,3</u> 1000,1	<u>14,1</u> 12,4
	700	<u>35,5</u> 38,3	<u>4,1</u> 3,6	<u>1,12</u> 1,21	<u>1,16</u> 1,10	= 82	= 170	<u>21,6</u> 26,8	<u>14,2</u> 11,5	<u>1007,1</u> 1000,6	<u>14,1</u> 11,5

¹⁾ содержание 5 масс. ч. на 100 масс. ч. ЭП;²⁾ числитель – образцы отверждены по режиму I, знаменатель – по режиму II.

Деформация при разрыве ε_p (рис. 2) при наполнении возрастает в $\sim 1,3$ раза в области максимума, а затем при увеличении концентрации ZrO₂ снижается до значений, близких к величине деформации при разрыве, присущей базовому образцу. Такое влияние нанопорошка на деформационную способность может быть объяснено следующим образом.

Известно [23], что наночастицы проявляют тенденцию к образованию агрегатов с размерами до 300 нм и даже агломератов с размерами до 3000 нм. Как показано в работе [24], структура агрегата с сильно связанными наночастицами при деформации допускает их поворот и скольжение, что приводит к дополнительному расходу энергии на развитие трещины, обуславливая тем самым повышение пластичности материала.

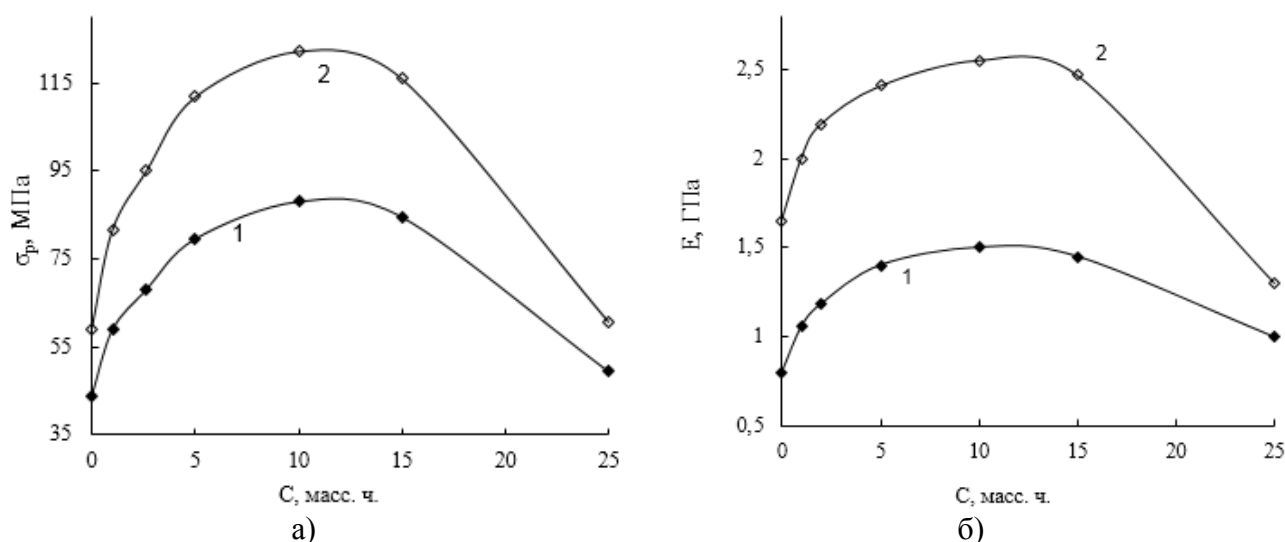


Рисунок 1- Зависимость σ_p (а) и E (б) от концентрации ZrO₂, прокаленного при 500 °C (1, 2).
Образцы отверждены по режимам: I (1) и II (2)

Благодаря значительному увеличению прочности пленочных образцов при введении нанопорошка, несмотря на небольшое изменение деформации, очень существенно возрастает работа разрушения материала (рис. 3). При этом увеличение A_p в области максимальных значений (при $5 < C < 15$ масс. ч.) составляет около 3 раз для непрогретых пленок и более 3,5 раз

для термообработанных образцов по сравнению с базовыми. Отметим, что полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [25].

Как видно из рис. 4, влияние нанопорошков на износ композиций весьма незначительно. При этом для образцов, отвержденных по режиму I, наполнение полимера ZrO_2 несколько ухудшает его способность противостоять износу. В результате термообработки стойкость образцов к износу возрастает.

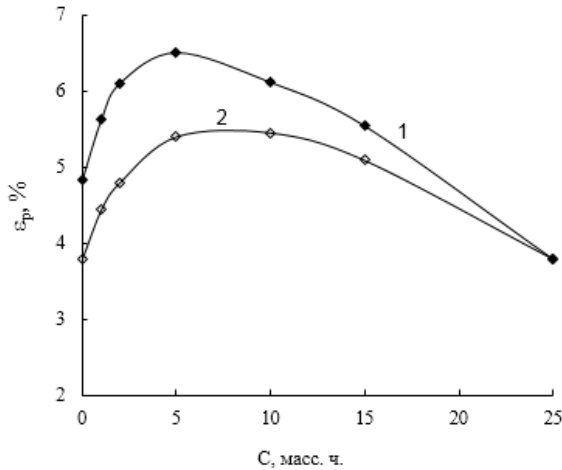


Рисунок 2 - Зависимость ϵ_r от концентрации ZrO_2 (1, 2). Образцы отверждены по режимам: I (1) и II (2)

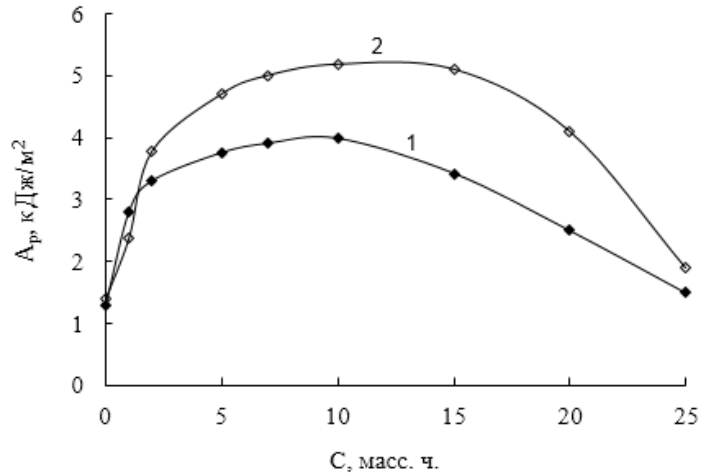


Рисунок 3 - Зависимость A_p от концентрации ZrO_2 (1,2). Образцы отверждены по режимам: I (1) и II (2)

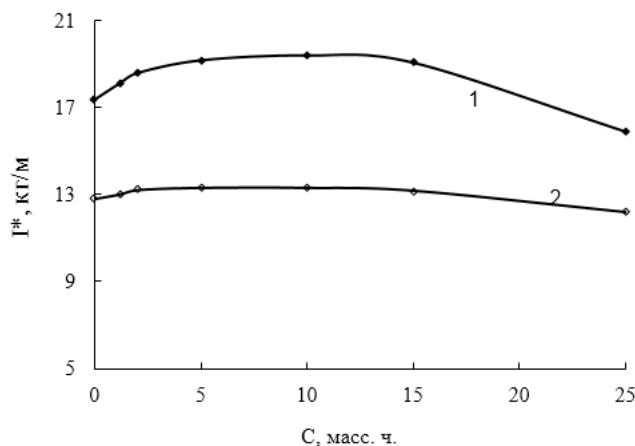


Рисунок 4 - Зависимость I^* от концентрации ZrO_2 (1, 2). Образцы отверждены по режимам: I (1) и II (12). $I^* = I \cdot \rho$, где ρ — плотность эпоксидного полимера

Мало сказывается влияние нанопорошков также на величине предела текучести эпоксидного полимера при сжатии (рис. 5а) и на адгезионной прочности (рис. 6). Более существенно при наполнении изменение параметра $\sigma_{сж}^p$. Видно (рис. 5б), что при введении диоксида циркония $\sigma_{сж}^p$ монотонно возрастает (примерно в 2 раза) по сравнению с базовым образцом, во всем исследованном диапазоне концентраций этого наполнителя.

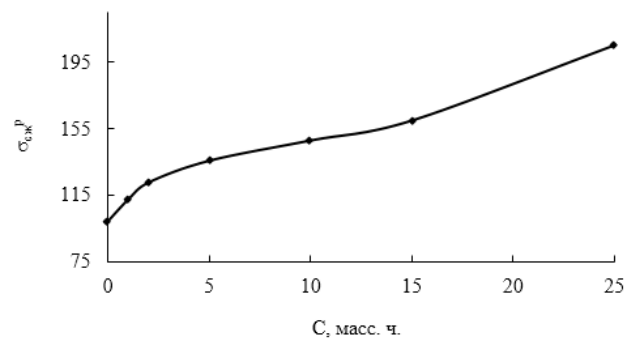
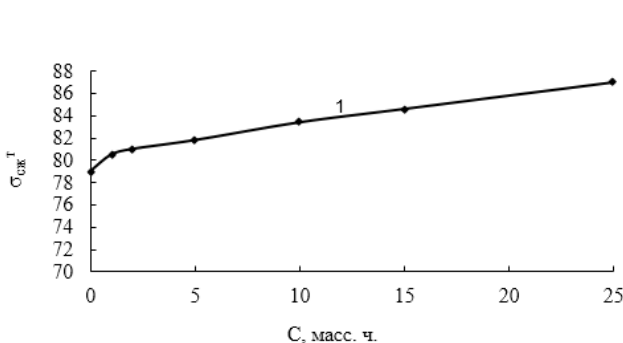
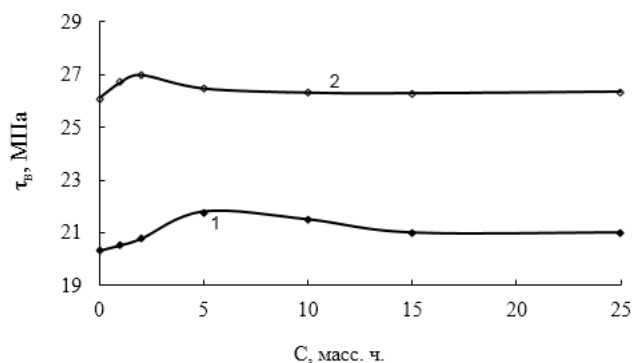


Рисунок 5 - Зависимость $\sigma_{сж}^t$ (слева) и $\sigma_{сж}^p$ (справа) от концентрации ZrO_2 . Образцы отверждены по режиму II

Таблица 3 - Зависимость теплофизических свойств от количества нанопорошка

Содержание ZrO_2 ¹⁾	Q, Дж/г	$T_{н}, ^\circ C$	$T_{м}, ^\circ C$	$T_{с}, ^\circ C$
0	297,7	77,6	124,3	84,2
2	292,9	84,6	127,9	84,6
5	278,8	84,8	128,2	78,2
15	314,9	85,7	128,1	73,5

¹⁾ масс. ч. на 100 масс. ч. ЭП

Рисунок 6 - Зависимость τ_v от концентрации ZrO_2 (1,2). Образцы отверждены по режимам: I (1) и II (2)

Как следует из с данных, полученных с помощью ДСК (табл. 3), с увеличением концентрации ZrO_2 наблюдается уменьшение температуры стеклования (на $\sim 10^\circ C$ при $C = 15$ масс. ч.).

Авторы [26], наблюдавшие подобное снижение T_c при исследовании ЭП, наполненных нанопорошком SiC на $8^\circ C$ (при массовой доле SiC 20 %), предложили следующее объяснение этого явления. В присутствии поверхностей раздела в системе «полимерная матрица – наночастица» изменяется кинетика процесса перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Увеличиваются скорость процесса, а также число фронтов превращений в наномасштабе, приводящие к ускорению общей трансформации в композиции, содержащей нанонаполнитель.

Может быть предложено и еще одно объяснение эффекта уменьшения температуры стеклования при введении нанопорошков. Известно [27], что для композиционных материалов на основе ЭП может наблюдаться эффект пластификации, обусловленный избирательной адсорбцией компонентов неотвержденной системы наполнителем. В результате вблизи наполнителя возможно образование в структуре композита участков с недостаточным количеством (если адсорбируется преимущественно отвердитель) или избыточным содержанием (если адсорбируется смола) отвердителя. Эти участки будут обладать меньшей величиной T_c и тем самым могут оказывать пластифицирующее действие на всю полимерную матрицу.

Интересные результаты были получены при исследовании влияния толщины испытываемых образцов на их деформационно-прочностные характеристики. Установлено, что параметры σ_p и E вначале возрастают с увеличением толщины (d), достигая максимума при толщине образца $\sim 0,4$ мм, а затем монотонно снижается с ростом d . При этом во всем диапазоне толщин наименьшей прочностью обладает самый тонкий образец, а наименьшим модулем упругости – самый толстый.

Деформация при разрыве ε_p при малых d растет почти линейно с увеличением толщины, достигает максимума при $d = 1,5$ мм а далее уменьшается. При этом различие между максимальными и минимальными значениями σ_p , E и ε_p составляет 1,45; 4,0 и 1,7 раз соответственно. Очевидно, что выяснение причины подобной зависимости свойств от толщины образцов представляет самостоятельный интерес и может служить предметом дальнейших исследований.

Выявлено также, что от геометрических размеров образца зависит и показатель микротвердости H . В поперечном сечении образца величина H с удалением от центра вначале несколько уменьшается, достигая минимума при расстоянии около 0,6 мм, а затем по мере удаления от центра и приближения к поверхности образца микротвердость возрастает. При этом экспериментальная кривая достаточно хорошо описывается аналитической зависимостью $H = 105,375 - 4,73121 \cdot x + 4,0179 \cdot x^2$, где x – расстояние слоя образца до его центра.

В продольном сечении образца микротвердость линейно уменьшается при удалении от торца образца к его центру. В данном случае экспериментальная зависимость хорошо описывается линейным уравнением $H = 117,5769 - 1,1096 \cdot x$, где x – расстояние слоя образца от торца в сторону его центра.

Заключение. Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о весьма неоднозначном влиянии нанопорошков оксида циркония на комплекс деформацион-

но-прочностных, триботехнических и теплофизических свойств эпоксидных полимеров. Эффект зависит от химической природы наполнителей, размеров частиц, их удельной поверхности, наличия легирующей добавки и других факторов. При введении нанопорошка удается достичь увеличения прочности при растяжении, модуля упругости и работы разрушения материала более, чем на 100, 80 и 200% соответственно по сравнению с ненаполненным образцом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Menon, A.K. Nanotechnology: Data storage perspective [Text] / A.K. Menon, B.K. Gupta // *Nanostructures Material*. – 1999. – Vol. 11. – N 8. – p. 965 – 986.
2. Кузьяев, И.М. Основные направления развития науки и техники в области полимерных нанокмпозитов и нанотехнологий на современном этапе [Текст] / И.М. Кузьяев, В.И. Сытар, О.С. Кабат // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2006. - № 4. – С. 126 – 139.
3. Гуляев, Г.М. Фуллероидные наноматериалы – активные структурные модификаторы полимеров и полимерных компонентов [Текст] / Г.М. Гуляев, С.И. Ильченко, О.А. Комарова и др // *Пласт. массы*. – 2003. - № 10. – с. 15-16.
4. Микитаев, А.К. Нанокмпозитные полимерные материалы на основе органоглин [Текст] / А.К. Микитаев, А.А. Каладжян, О.Б. Леднев, М.А. Микитаев // *Пласт.массы*. – 2004. - № 12. – с. 45 – 50.
5. Коробко, А.П. Нанокмпозиты на основе пластифицированного полиэфируретана и ультрадисперсных алмазов [Текст] / А.П. Коробко, Ю.М. Милехин, С.В. Крашенинников и др. // *Высокомолек. соед. Сер. А*. – 2004. – Т.46, № 9. – С.1558 – 1569
6. Зеленкова-Мышкова, М. Свойства эпоксидных систем с глиносодержащими нанокмпозитами [Текст] / М. Зеленкова-Мышкова, Ю. Зеленка, В. Шпачек, Ф. Соча // *Механика композит. материалов*. – 2003. – т. 39, № 2. – с. 177 – 182.
7. Sandler, J.K.W. Ultra – low electrical percolation threshold in carbon – nanotube – epoxy composites [Text] / J.K.W. Sandler, J.E. Kirk, I.A. Kinloch et al. // *Polymer*. – 2003. – V. 44, № 19. – P. 5893 – 5899.
8. Tjong, S.C. Structure and properties of Polyamide-6 / vermiculite nanocomposites prepared by direct melt compounding [Text] / S.C. Tjong, V.Z. Meng, Y. Xu // *Polym. Sci.* – 2002. – V. 40 B, № 24. – P. 2860 – 2870.
9. Брусенцева, Т.А. Композиционные материалы на основе эпоксидных смол и наночастиц [Текст] / Т.А. Брусенцева, А.А. Филиппов, В.М. Фомин // *Известия АлтГУ*. – 2014. – Т. 1, № 1 (81). – С. 25 – 27.
10. Галимова, Н.Я. Разработка композиционных материалов на основе нанонаполненного поливинилхлорида [Текст] / Н.Я. Галимова, А.Г. Аблясова, Р.К. Низамов, Э.Р. Галимов, Ю.А. Веретукова // *Композиционные материалы в промышленности: Материалы Девятнадцатой международной конференции и выставки, 30-31 мая – 1,2,3 июня 2005 г., Ялта – Киев: УНЦ «Наука, техника, технология», 2005. – С. 284 – 286.*
11. Ларионова, М.Л. Применение нанонаполнителей для усиления эластомерных смесевых композиций [Текст] / М.Л. Ларионова, М.Д. Соколова // *Композиционные материалы в промышленности: Материалы Девятнадцатой международной конференции и выставки, 30,31 мая – 1,2,3 июня 2005 г., Ялта – Киев: УНЦ «Наука, техника, технология», 2005. – С. 90 – 92*
12. Ульянова, Т.М. Нанокристаллические наполнители на основе диоксида циркония для композиционных материалов [Текст] / Т.М. Ульянова, С.В. Медиченко, Н.П. Крутько // *Композиционные материалы в промышленности: Материалы Девятнадцатой международной конференции и выставки, 30,31 мая – 1,2,3 июня 2005 г., Ялта – Киев: УНЦ «Наука, техника, технология», 2005. – С. 205 – 208.*
13. Охлопкова, А.А. Полимерные триботехнические материалы на основе полиолефинов и нанопинелей переходных материалов [Текст] / А.А. Охлопкова, П.Н. Петрова, О.К. Гоголева // *Композиционные материалы в промышленности: Материалы Девятнадцатой международной конференции и выставки, 30,31 мая – 1,2,3 июня 2005 г., Ялта – Киев: УНЦ «Наука, техника, технология», 2005. – С. 395 – 398.*
14. Охлопкова, А.А. Триботехнические композиционные материалы на основе фторопласта и нанодисперсных порошков [Текст] / А.А. Охлопкова, П.Н. Петрова, О.В. Гоголева, А.Г. Парникова // *Композиционные материалы в промышленности: Материалы Девятнадцатой международной конференции и выставки, 29 мая – 2 июня 2006 г., Ялта. – Киев: УНЦ «Наука, техника, технология», 2006. – С. 167 – 168.*
15. Охлопкова, А.А. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями [Текст] : монография / А.А. Охлопкова, А.В. Виноградов, Л.С. Пинчук – Гомель: ИММС НАНБ, 1999. – 164 с.
16. Souytag, J. Изготовление нанокмпозиций для защиты эластичных солнечных батарей с использованием установки Torusmill [Текст] / J. Souytag, K. Mehnert, M. Gertzmann // *ЛКМ*, 2006. - № 5.- С.26 – 29.
17. Garcera, M. Friction and Wear Studies on Nylon-6/SiO₂ nanocomposites [Text] / Garcera M., Rooij N., Winnabst L. et al // *J. Appl. Polym. Sci.* - 2004. – Vol. 92. – N 3. – P. 1855 – 1862.
18. Bhimaraja, P. Effect of matrix morphology on the wear and friction behavior of aluvina nanoparticle / poly(ethylene)terephthalate composites [Text] / P. Bhimaraja, D.L. Burrisb, J. Action et al // *Wear*. - 2005. – Vol. 258. – P. 1437 – 1445.
19. Schon, J. Coefficient of friction and wear of carbon fibre epoxy matrix composite [Text] / J. Schon // *Wear*. - 2004. – Vol. 257. – P. 395 – 407.
20. Xiubing, Li. Wear reduction mechanism of graphite and MoS₂ in epoxy composites [Text] / Li. Xiubing, Gao. Yimin, J. Xing et al. // *Wear*. - 2004. – Vol. 57. – P. 279 – 283.
21. Наполнители для полимерных материалов [Текст] : Справочное пособие: Пер. с англ./ Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

22. Малкин, А.Я. Методы измерения механических свойств полимеров [Текст] : справочное пособие / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига – М.: Химия, 1983. – 248 с.
23. Белошенко, В.А. Эффект памяти формы в полимерах и его применение [Текст] / В.А. Белошенко, В.Н. Васько – Киев: Наук. думка, 2005. – 192 с.
24. Yiang, X.-L. Deformation of nanostructured ceramic coatings [Text] / X.-L. Yiang, E. Jorolan, L. Shaw, M. Gell // Materials Science. – 2003. – Vol. 39, № 2. – P. 305–306.
25. Basara, C., Yilmazer U., Bayram C. Synthesis and Characterization of Epoxy Based Nanocomposites [Text] / C. Basara, U. Yilmazer, C. Bayram // J. Polym. Sci. Part B: Polymer Physics. – 2005. – Vol. 98. – N 3. – P. 1081 – 1086.
26. Gall, R. Internal stress storage in shape memory polymers nanocomposites [Text] / R. Gall, M.L. Dunn, Y. Liu // Appl. Phys. Lett. – 2004. – V.85, № 2. – P. 290 – 292.
27. Хозин, В.Г. Усиление эпоксидных полимеров [Текст] / В.Г. Хозин – Казань: ПИК «Дом печати» - 2004. – 446 с.

Кочергин Юрий Сергеевич

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Украина, г. Донецк
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua

Григоренко Татьяна Ильинична

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Украина, г. Донецк
кандидат технических наук
E-mail: grigorencot2013@mail.ru

Попова Оксана Сергеевна

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Украина, г. Донецк
Старший преподаватель кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров
E-mail: OMango@yandex.ru

YU.S. KOCHERGIN, O.S. POPOVA, T.I. GRIGORENKO

PROPERTIES OF EPOXY POLYMERS NANOPOROSITY FILLED WITH ZIRCONIUM DIOXIDE

In a wide interval of concentrations, the influence of nanopowders of zirconium dioxide on the deformation-strength, adhesion, tribological and thermophysical properties of epoxy polymers based on industrial resin ED-20. As nanopowder used several types of zirconium dioxide with different thermal histories, different particle sizes and specific surface area, phase composition and the presence of a dopant is yttrium oxide. Installed the sharp dependence of properties on temperature calcination of the injected powder. Higher values of strength properties, elastic modulus, work of fracture and resistance to abrasion when using powders with the calcination temperature of 500 °C are associated with smaller particle size and greater specific surface area compared to powders obtained at 700 °C. Alloying of powder of zirconium dioxide with yttrium oxide provides an increase in modulus and compressive strength.

Key words: epoxy polymer, a nanopowder of zirconium dioxide, the mode of curing, the deformation-strength, tribological, thermophysical, adhesive properties

REFERENCES

1. Menon, A.K. Nanotechnology: Data storage perspective [Text] / A.K. Menon, B.K. Gupta // Nanostructures Material. – 1999. – Vol. 11. – N 8. – p. 965 – 986.
2. Kuzyayev, I.M. Osnovnyye napravleniya razvitiya nauki i tekhniki v oblasti polimernykh nanokompozitov i nanotekhnologiy na sovremennom etape [Tekst] / I.M. Kuzyayev, V.I. Sytar, O.S. Kabat // Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2006. – № 4. – S. 126 – 139.
3. Gulyayev, G.M. Fulleroïdnyye nanomaterialy – aktivnyye strukturnyye modifikatory polimerov i polimernykh komponentov [Tekst] / G.M. Gulyayev, S.I. Il'chenko, O.A. Komarova i dr // Plast. massy. – 2003. – № 10. – s. 15-16.
4. Mikitayev, A.K. Nanokompozitnyye polimernyye materialy na osnove organoglin [Text] / A.K. Mikitayev, A.A. Kaladzhyan, O.B. Lednev, M.A. Mikitayev // Plast.massy. – 2004. – № 12. – s. 45 – 50.
5. Korobko, A.P. Nanokompozity na osnove plastifitsirovannogo poliefirureтана i ul'tradis-persnykh almazov [Tekst] / A.P. Korobko, YU.M. Milekhin, S.V. Krashenninnikov i dr. // Vysokomolek. soyed. Ser. A. – 2004. – T.46, № 9. – S.1558 – 1569
6. Zelenkova-Myshkova, M. Svoystva epoksidnykh sistem s glinosoderzhashchimi nanokomponentami [Text] / M. Zelenkova-Myshkova, YU. Zelenka, V. Shpachek, F. Socha // Mekhanika kompozit. materialov. – 2003. – t. 39, № 2. – s. 177 – 182.
7. Sandler, J.K.W. Ultra – low electrical percolation threshold in carbon – nanotube – epoxy composites [Tekht] / J.K.W. Sandler, J.E. Kirk, I.A. Kinloch et al. // Polymer. – 2003. – V. 44, № 19. – R. 5893 – 5899.

8. Tjong, S.C. Structure and properties of Polyamide-6 / vermiculite nanocomposites prepared by direct melt compounding [Tekht] / S.C. Tjong, V.Z. Meng, Y. Xu // Polym. Sci. – 2002. – V. 40 B, № 24. – R. 2860 – 2870.
9. Brusentseva, T.A. Kompozitsionnyye materialy na osnove epoksidnykh smol i nanochastits [Tekst] / T.A. Brusentseva, A.A. Filippov, V.M. Fomin // Izvestiya AltGU. – 2014. – T. 1, № 1 (81). – S. 25 – 27.
10. Galimova, N.YA. Razrabotka kompozitsionnykh materialov na osnove nanonapolnennogo polivi-nilkhlorida [Tekst] / N.YA. Galimova, A.G. Ablyasova, R.K. Nizamov, E.R. Galimov, YU.A. Veretukova // Kompozitsi-onnyye materialy v promyshlennosti: Materialy Dvadtsat' pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki, 30-31 maya – 1,2,3 iyunya 2005 g., Yalta – Kiyev: UNTS «Nauka, tekhnika, tekhnologiya», 2005. – S. 284 – 286.
11. Larionova, M.L., Primeneniye nanonapolniteley dlya usileniya elastomernykh smesevykh kompo-zitsiy [Tekst] / M.L. Larionova, M.D. Sokolova // Kompozitsionnyye materialy v promyshlennosti: Materialy Dvadtsat' pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki, 30,31 maya – 1,2,3 iyunya 2005 g., Yalta – Kiyev: UNTS «Nauka, tekhnika, tekhnologiya», 2005. – S. 90 – 92
12. Ul'yanova, T.M. Nanokristallicheskiye napolniteli na osnove dioksida tsirkoniya dlya kompozi-tsionnykh materialov [Tekst] / T.M. Ul'yanova, S.V. Medichenko, N.P. Krut'ko // Kompozitsionnyye materialy v promyshlennosti: Materialy Dvadtsat' pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki, 30,31 maya – 1,2,3 iyunya 2005 g., Yalta – Kiyev: UNTS «Nauka, tekhnika, tekhnologiya», 2005. – S. 205 – 208.
13. Okhlopko, A.A. Polimernyye tribotekhnicheskiye materialy na osnove poliolefinov i nano-shpineley perekhodnykh materialov [Tekst] / A.A. Okhlopko, P.N. Petrova, O.K. Gogoleva // Kompozitsionnyye ma-terialy v promyshlennosti: Materialy Dvadtsat' pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki, 30,31 maya – 1,2,3 iyunya 2005 g., Yalta – Kiyev: UNTS «Nauka, tekhnika, tekhnologiya», 2005. – S. 395 – 398.
14. Okhlopko, A.A. Tribotekhnicheskiye kompozitsionnyye materialy na osnove ftoroplasta i nanodispersnykh poroshkov [Tekst] / A.A. Okhlopko, P.N. Petrova, O.V. Gogoleva, A.G. Parnikova // Kompozitsi-onnyye materialy v promyshlennosti: Materialy Dvadtsat' shestoy mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki, 29 maya – 2 iyunya 2006 g., Yalta. – Kiyev: UNTS «Nauka, tekhnika, tekhnologiya», 2006. – S. 167 – 168.
15. Okhlopko, A.A. Plastiki, napolnennyye ul'tradispersnymi neorganicheskimi soyedineniyami [Tekst] : monografiya / A.A. Okhlopko, A.V. Vinogradov, L.S. Pinchuk – Gomel': IMMS NANB, 1999. – 164 s.
16. Souytag, J. Izgotovleniye nanokompozitsiy dlya zashchity elastichnykh solnechnykh batarey s ispol'-zovaniyem ustanovki Torusmill [Text] / J. Souytag, K. Mehnert, M. Gertzmann // LKM, 2006. - № 5.- C.26 – 29.
17. Garcera, M. Friction and Wear Studies on Nylon-6/SiO₂ nanocomposites [Text] / Garcera M., Rooij N., Winnabst L. et al // J. Appl. Polym. Sci. - 2004. – Vol. 92. – N 3. – P. 1855 – 1862.
18. Bhimaraja, P. Effect of matrix morphology on the wear and friction behavior of aluvina nanoparticle / poly(ethylene)terephthalate composites [Tekht] / P. Bhimaraja, D.L. Burrisb, J. Action et al // Wear. - 2005. – Vol. 258. – P. 1437 – 1445.
19. Schon, J. Coefficient of friction and wear of carbon fibre epoxy matrix composite [Text] / J. Schon // Wear. - 2004. – Vol. 257. – P. 395 – 407.
20. Xiubing, Li. Wear reduction mechanism of graphite and MoS₂ in epoxy composites [Text] / Li. Xiubing, Gao. Yimin, J. Xing et al. // Wear. - 2004. – Vol. 57. – P. 279 – 283.
21. Napolniteli dlya polimernykh materialov [Tekst] : Spravochnoye posobiye: Per. s angl./ Pod red. P.G. Babayevskogo. – M.: Khimiya, 1981. – 736 s.
22. Malkin, A.YA. Metody izmereniya mekhanicheskikh svoystv polimerov [Tekst] : spravochnoye posobiye / A.YA. Malkin, A.A. Askadskiy, V.V. Kovriga– M.: Khimiya, 1983. – 248 s.
23. Beloshenko, V.A. Effekt pamyati formy v polimerakh i yego primeneniye [Tekst] / V.A. Beloshenko, V.N. Varyukhin – Kiyev: Nauk. dumka, 2005. – 192 s.
24. Yiang, X.-L. Deformation of nanostructured ceramic coatings [Tekht] / X.-L. Yiang, E. Jorolan, L. Shaw, M. Gell // Materials Science.– 2003. –Vol. 39, № 2. – P. 305–306.
25. Basara, C., Yilmazer U., Bayram C. Synthesis and Characterization of Epoxy Based Nanocomposites [Tekht] / C. Basara, U. Yilmazer, C. Bayram //J. Polym. Sci: Part B: Polymer Physics. - 2005. – Vol. 98. – N 3. - P. 1081 – 1086.
26. Gall, R. Internal stress storage in shape memory polymers nanocomposites [Tekht] / R. Gall, M.L. Dunn, Y. Liu // Appl. Phys. Lett.- 2004. – V.85, № 2. – R. 290 – 292.
27. Khozin, V.G. Usileniye epoksidnykh polimerov [Tekst] / V.G. Khozin – Kazan': PIK «Dom pečhati» - 2004. – 446 s.

Yu.S. Kochergin

Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Ukrain, Donetsk
Doctor of Tech. Science, Professor
E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua

T.I. Grigorenko

Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Ukrain, Donetsk
Candidate of Tech. Science
E-mail: grigorencot2013@mail.ru

O.S. Popova

Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Ukrain, Donetsk
Senior lecturer of the chair of commodity research and examination of nonfoods
E-mail: omango@yandex.ru

РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ. СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС»

Тамразян А. Г. Железобетонные и каменные конструкции. специальный курс: учебное пособие. М.: МГСУ, 2017. 732 с.

В современных условиях возрастает роль высшего образования. Существующие схемы организации учебного процесса не в полной мере удовлетворяют современным требованиям и нуждаются в обновленных принципах организации учебного процесса. Необходима новая форма учебников, которая будет направлена на усиление стимулирующей роли контроля оценки знаний студентов, экономию труда преподавателя, создание в студенческой среде ситуации заинтересованности и ответственности за результаты своего труда.

Все это заставляет преподавателей постоянно искать новые методы и формы образовательной деятельности, совершенствовать методику обучения, внедрять в учебный процесс более эффективные методы и средства, с тем, чтобы активизировать процесс усвоения знаний, формирование умений и навыков. Только обучение с широким комплексным использованием разнообразных технических средств позволяет осуществить в учебных заведениях научную организацию труда студентов и преподавателей.

Для совершенствования учебного процесса необходим комплексный подход к процессу обучения с применением новейших технологий.

Капитальный труд, удовлетворяющий современным требованиям высшего образования, выразился в издании в 2017 году МГСУ учебного пособия «Железобетонные и каменные конструкции. Специальный курс», автор-Тамразян А.Г., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.

Метод активного обучения, изложенный в этом учебном пособии в интерактивной форме решения кроссвордов, связан со стремлением активизировать познавательную деятельность обучающихся и способствовать ее повышению. Такой подход вызывает у студентов живой интерес к предмету, позволяют развивать индивидуальные способности каждого студента, воспитывают познавательную активность.

Применение данного учебного пособия одновременно решает на практике и проблему эффективности и полезности, которая до сих пор является одной из актуальных ведущих методологических проблем в области технических наук, в частности строительных конструкций, задача которой — обеспечивать связь изучаемых дисциплин, явлений и создаваемых представлений с глубоким пониманием существа предмета изучения.

Методика его использования построена таким образом, чтобы довести усвоение учебного материала до уровня активного использования его при решении поставленной задачи.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам подготовки 08.03.01 «Строительство» для бакалавриата, а также для специалистов 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений». Будет весьма полезна преподавателям высших учебных заведений.

В. И. Морозов,
чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой строительных конструкций СПбГАСУ



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

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит **от 4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

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

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.build.oreluniver.ru

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 777-318

www.oreluniver.ru

E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49

www.build.oreluniver.ru

E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Технический редактор С.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 20.10.2017 г.
Дата выхода в свет 24.10.2017 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,3.
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.