

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

Гордон В.А., советник РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Коробко В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин С.Ю., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Скобелева Е.А., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Редколлегия:

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

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

Бок Т., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Булгаков А.Г., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Данилевич Д.В., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Емельянов С.Г., чл.-корр. РААСН, д-р техн.
наук, проф. (Россия)

Карпенко Н.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Колесникова Т.Н., д-р арх., проф. (Россия)

Колчунов В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Коробко А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

Кривошапко С.Н., д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Лефай З., д-р техн. наук, проф. (Франция)

Мелькумов В.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Орлович Р.Б., д-р техн. наук, проф. (Польша)

Птичкина Г.А., д-р арх., проф. (Россия)

Реболж Д., д-р техн. наук, проф. (Словения)

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)

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

Трещев А.А., 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)

Яковенко И.А., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Исполнительный редактор:

Юрова О.В., (Россия)

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская,
д. 77.

Тел.: +79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединённому каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2021

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Булкин С.А. Кручение с изгибом сталефибробетонной балки прямоугольного сечения.....	3
Ищук М.К., Ищук В.Л., Шапиро Г.И. Механизм образования трещин в кладке лицевого слоя наружных стен при температурных воздействиях.....	14
Курнавина С.О., Цацулин И.В. Влияние несомкнутых трещин в сжатой зоне бетона на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов.....	28
Люблинский В.А. К вопросу о перераспределении напряжений в вертикальных несущих железобетонных конструкциях многоэтажных зданий.....	39
Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Описание работы буронабивных свай в группе с использованием расширенной схемы сопротивления грунтового основания.....	46

Безопасность зданий и сооружений

Тамразян А.Г., Минеев М.С. Калибровка модели коррозионного растрескивания защитного слоя бетона.....	56
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Архитектура и градостроительство

Енин А.Е., Щелыкина-Монастырёва Э.И. Формирование методов благоустройства территории имеющей культурные, археологические и природные охранные регламенты её использования на примере Семилукского городища.....	63
Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Вопросы комфортности и безопасности городской среды и их решение в рамках законодательных и нормативных документов.....	74

Строительные материалы и технологии

Ву Ким Зиен, Баженова С.И., Танг Ван Лам, Фан Хань Хань Влияния входных факторов на свойства пенобетона.....	86
Ильина Л.В., Тацки Л.Н., Барышок Л.А. Керамический кирпич на основе низкокачественного глинистого сырья с добавкой отходов ферросиликомарганца.....	96
Ткач Е.В., Темирканов Р.И., Ружилов О.В. Изучение гидрофизических свойств тяжелого бетона, модифицированного органоминеральной добавкой и микроармирующими волокнами.....	105

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

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

Managing Editor:
Yurova O.V. (Russia)

The edition address:
302030, Oryol region., Oryol, Moskovskaya
Street, 77
+7 (4862) 73-43-49
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Index on the catalogue of the «Pressa
Rossii» 86294

© Orel State University, 2021

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Bulkin S.A.** Torsion with bending of rectangular steel fiber reinforced concrete beam..... 3
Ishchuk M.K., Ishchuk V.L., Shapiro G.I. Mechanism of the formation of cracks in the brick veneer of the exterior walls with flexible ties under temperature influences..... 14
Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. The influence of unclosed cracks in compressed zone of concrete on the bearing capacity of bending reinforced concrete elements..... 28
Lyublinskiy V.A. To the question of redistribution of stress in vertical bearing rc structures multi-story buildings..... 39
Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Description of the bored piles work in a group with using an extended resistance circuit of soil base.... 46

Building and structure safety

- Tamrazyan A.G., Mineev M.S.** Calibration of the corrosion cracking model of protective concrete layer..... 56

Architecture and town-planning

- Enin A.E., Shcheblykina-Monastyreva E.I.** Formation of territorial improvement methods with cultural, archeological and natural protective regulations of its use on the example of the Semiluk town..... 63
Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Issues of comfort and safety of the urban environment and their solution within the framework of legislative and regulatory documents 74

Construction materials and technologies

- Vu Kim Dien, Bazhenova S.I., Tang Van Lam, Phan Khanh Khanh** Influence of input factors on the foam concrete properties..... 86
Ilina L.V., Tacky L.N., Barshok L.A. Ceramic brick based on low-quality clay raw material with waste addition ferrosilicomnanants..... 96
Tkach E.V., Temirkanov R.I., Ruzhilo O.V. Study of the hydrophysical properties of heavy concrete modified with an organomineral additive and micro-reinforcing fibers..... 105

С.А. БУЛКИН¹

¹ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия

КРУЧЕНИЕ С ИЗГИБОМ СТАЛЕФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. В статье приведена информация о проведенных испытаниях железобетонных балок прямоугольного сечения из высокопрочного сталефибробетона при действии кручения с изгибом. Приведена информация по основным полученным результатам: схема трещин с указанием их ширины раскрытия, значения опорных реакций в момент образования трещин и в момент, предшествующий разрушению образца. Установлено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона раскрывается в основном одна трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе. Произведено моделирование балок в расчетном комплексе с описанием основных расчетных предпосылок при моделировании рассматриваемой конструкции. Приведены результаты расчета и выполнен сравнительный анализ полученных результатов с результатами проведенных экспериментов. Отмечено, что принятые модели в расчетных комплексах требуют разработки подпрограмм и уточнения.

Ключевые слова: железобетон, кручение с изгибом, деформации, прочность, квадратное сечение.

S.A. BULKIN¹

¹ZAO «GORPROJECT», Moscow, Russia

TORSION WITH BENDING OF RECTANGULAR STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAM

Abstract. The article provides information about the tests of rectangular cross-section reinforced concrete beams made of high-strength steel-fiber concrete on combined torsion and bending. Given information contains the main results: a diagram of the cracks with an indication of their opening width, the values of support reactions at the moment of cracking and at the moment before destruction. It was found that as the load is applied in beams made of high-strength steel-reinforced concrete, in the case of several cracks at the first stage, there is one crack increases. The beams are modeled in the design complex and given description of the main design parameters. The results of the calculation are presented and a comparative analysis of the results obtained with the experiments results. It is noted that the adopted models in the computational complexes require the development of subroutines and refinement.

Keywords: reinforced concrete structures, combined bending and torsion, deformation, strength, square cross section

Введение

В настоящее время довольно широкое распространение при строительстве зданий и сооружений получило применение железобетонных конструкций. Возведение высотных зданий подразумевает работу несущих конструкций в условиях повышенных сочетаний усилий, что в свою очередь требует применения новых материалов – высокопрочных бетонов, а также фибробетонов. При этом при эксплуатации железобетонных конструкций в ряде случаев возникает сложнапряженное состояние - кручения с изгибом.

Исследованиями работы железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии занимались многие исследователи как российские, так и зарубежные: В.М. Бондаренко, П.Ф. Вахненко, А.И. Демьянов, Н.И. Карпенко, Вл.И. Колчунов, А.М. Кузьменко, В.И. Морозов, В.И. Травуш, А. Bishara, Н. Gesund, E. Rausch, T.T.C. Hsu и др. [1-15]. Большинство исследований посвящено рассмотрению вопросов прочности таких железобетонных элементов. Рассмотрению вопросов предельных состояний второй группы при кручении с изгибом занимались лишь отдельные авторы, а вопросы работы железобетонных конструкций из высокопрочного фибробетона находится в постановочной стадии.

Учитывая, что существующие нормативные документы не могут охватить весь спектр возникающих задач, а технологический прогресс и существующие потребности требуют применения новых материалов, ответственность за выбор, как расчетной модели, так и полученных результатов расчетов лежит непосредственно на проектировщике, который сталкивается со сложным вопросом выбора расчетной модели, позволяющей должным образом отразить действующую работу конструкций. При отсутствии результатов проведенных натурных экспериментов, решение возникшей проблемы в большинстве случаев сводится к предположениям.

Из сказанного выше следует, что разработка методики расчета железобетонных конструкций из высокопрочного сталефибробетона при кручении с изгибом с учетом особенностей возникновения трещин является актуальной задачей.

Однако, основные расчетные параметры (прогибы и углы поворота сечений, схема трещин и ширина их раскрытия, момент образования трещин), которые будут заложены в расчетную модель и, соответственно, на основании которой будет разрабатываться методика расчета, требуют экспериментального подтверждения.

Методика физического моделирования сталефибробетонной балки

Был проведен ряд экспериментов железобетонных балок прямоугольного сечения на совместное действие изгиба с кручением для определения фактической трещиностойкости и несущей способности. Для исследования были изготовлены балки квадратного 20х20 см и длиной 1.2 м. Балки выполнены из сталефибробетона В130 со стальной фиброй длиной 13 мм, диаметром 0,3 мм и временным сопротивлением не менее 1200 МПа.

Армирование балок выполнено в виде сварных каркасов с продольной и поперечной арматурой А240 Ø6 мм. Продольное армирование предусмотрено из восьми стержней по три стержня на каждой стороне, поперечное армирование расположено с шагом 100 мм (рисунок 1). Для возможности передачи крутящего момента в торцах балок были предусмотрены закладные детали.

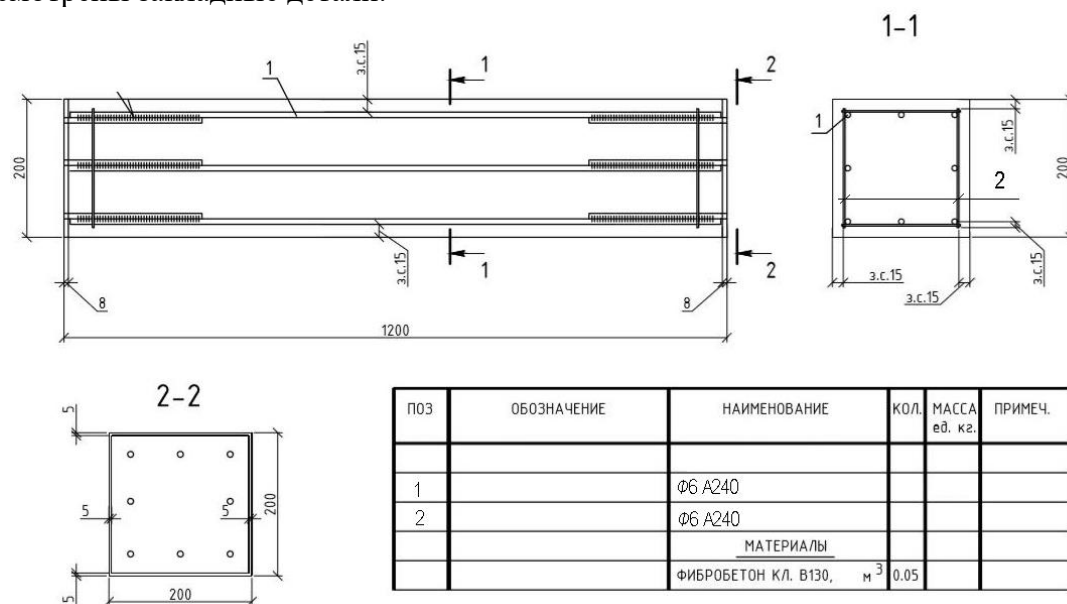


Рисунок 1 - Схема армирования балок

При проведении эксперимента, балка с приваренными к установленным в торцах закладным деталям консолями длиной 720 мм устанавливалась средней частью на опору, а к консолям через траверсу передавалось вертикальное усилие (рисунок 2). Нагружение производилось поэтапно – ступенями равными 10% от нагрузки трещинообразования. Фиксация показаний приборов (индикаторы прогибомеров) производилась на каждой ступени до и после выдержки.



Рисунок 2 - Процесс испытания балки



Рисунок 3 - Трещина в балке в момент разрушения

Результаты экспериментальных и численных исследований и их анализ

В процессе проведения экспериментов были зафиксированы момент возникновения трещин, а также момент разрушения образцов с определением соответствующих усилий (рисунок 3).

По результатам проведенного эксперимента были получены данные о сложном напряженно-деформируемом состоянии при изгибе с кручением в исследуемых областях балок и определены основные параметры:

- опытное значение опорной реакции в момент образования пространственных трещин составило 42 кН, при разрушении железобетонных конструкций – 53 кН;
- координаты образования пространственных трещин;
- прогибы консолей и, соответственно, углы поворота;
- ширина раскрытия трещин на ступени 80% от разрушающего усилия составила 5 мм, а в момент, предшествующий разрушению – 13 мм;
- изменение длины проекций пространственных трещин в зависимости от увеличения ступеней нагружения;

По результатам анализа была составлена схема трещин. Схема трещин с указанием их номеров и ширины раскрытия приведена на рисунке 4.

При проведении экспериментов было отмечено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона увеличивается в основном одна трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе.

Образование единичной пространственной трещины в рассмотренных образцах приводило к быстрому раскрытию этой трещины, значительному росту деформаций, с соответствующим ростом прогибов и углов поворота.

Для сравнения с результатами проведенных экспериментов было проведено моделирование балки в среде ANSYS и выполнен расчет.

В качестве расчетной схемы рассматривалась балка с консолями, которая имеет опору посередине (рисунок 5).

Формирование геометрической модели в программном комплексе выполнялось на основании данных об образцах, используемых в экспериментах. Геометрическая модель представляет собой модель бетона балки квадратного сечения с размерами 200х200 мм.

Внутри бетона расположен арматурный каркас, состоящий из продольной арматуры – по три стержня на каждой стороне, расположенные на расстоянии 25 мм от грани до центра стержней, и поперечной арматуры, расположенной с шагом 100 мм.

К геометрическим моделям бетона и арматуры были жестко присоединены консоли в виде элементов прямоугольного сечения 50х200 мм и длиной 720 мм.

Следующим этапом расчетного моделирования было назначение типов элементов и построение конечно-элементной сетки.

Бетон балки представлен объемными конечными элементами типа *SOLID65*, армирование балки моделировалось стержневыми конечными элементами типа *BEAM189*. Консоли и опорная часть балки моделированы объемными элементами типа *SOLID186*.

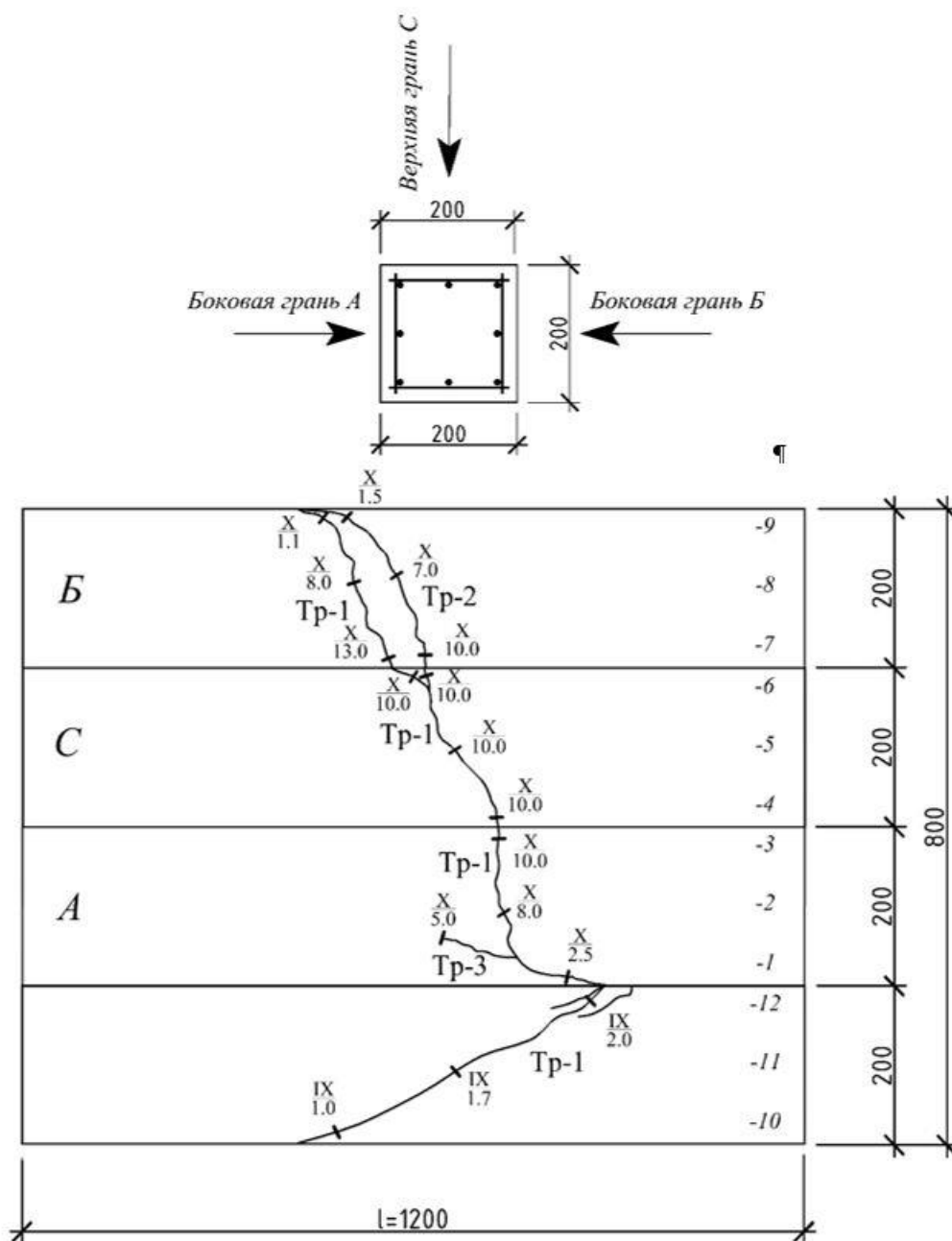


Рисунок 4 - Схема трещин

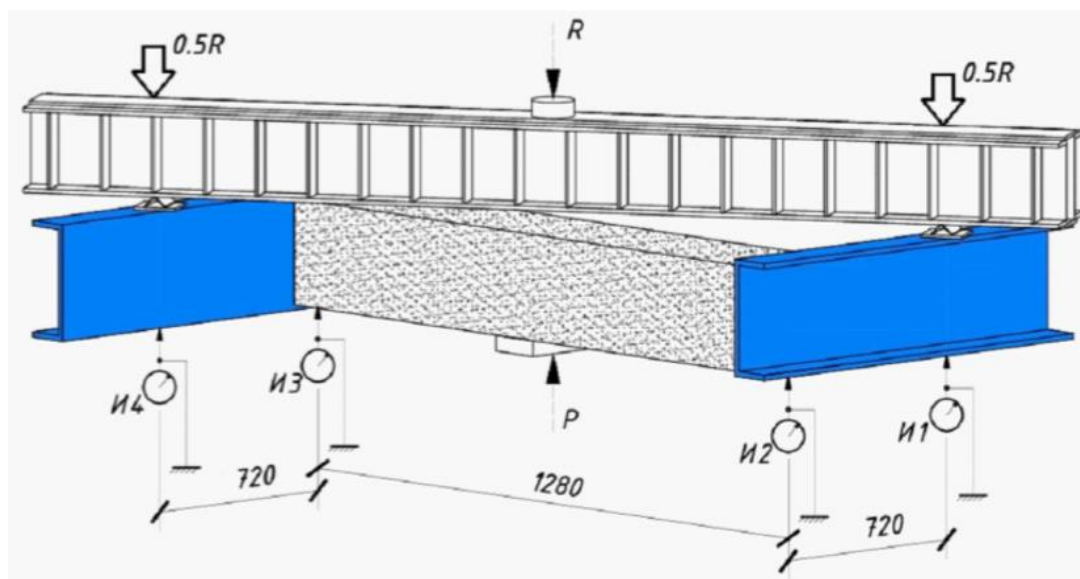


Рисунок 5 - Расчетная схема балки квадратного сечения

Объемные конечные элементы типа *SOLID65* предназначены для моделирования элементов, допускающих трещинообразование при растяжении, а также они допускают возможность разрушения материала при сжатии. С учетом того, что по результатам проведенных экспериментов разрушение происходит после достижения растянутой арматурой предела текучести, в целях проводимых исследований возможность разрушения бетона при сжатии не рассматривалась (опция разрушения сжатого бетона не использовалась).

Дополнительно введен коэффициент передачи сдвига (0.7) (*Shear transfer coefficients*), а также ограничены предельные растягивающие напряжения (22.6 МПа) и предельные сжимающие напряжения (132.5 МПа). Диапазон коэффициента передачи сдвига задается в пределах от 0 до 1, где 0 соответствует отсутствию передачи сдвига (гладкая трещина), а 1 соответствует полной передаче сдвига.

Для моделирования бетона в среде ANSYS принята комбинация следующих материалов: *Linear Isotropic*, *Multilinear Isotropic* и *Concrete*. Материал *Linear Isotropic* предназначен для задания начального модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона. Материал *Multilinear Isotropic* подразумевает задание криволинейной диаграммы мультлинейной аппроксимацией. Материал *Concrete* предусматривает образование трещин при превышении главными напряжениями заданного предела прочности при растяжении, а также учет трехосного напряженного состояния.

Физико-механические характеристики бетона были определены по результатам статистической обработки испытаний кубиков и призм. Результаты представлены в таблице 1.

Модуль упругости, пределы прочности на сжатие и растяжение при изгибе для бетона в настоящем расчетном исследовании принимались в соответствии с полученными данными по изготовленным образцам из высокопрочного фибробетона: $E_b = 48.4$ ГПа, $R_b = 132.5$ МПа, $R_{tt} = 22.6$ МПа.

Диаграмма работы для арматурной стали A240 принималась двухлинейной с упрочнением в соответствии с рекомендациями СП 63.13330. Предел прочности на растяжение и сжатие при расчетах был принят равным 240 МПа.

Нагрузка прикладывалась к концам консолей в соответствии с определенной расчетной схемой, позволяя получить в балке сложное напряженно-деформируемое состояние при кручении с изгибом (рисунок 6).

Таблица 1 – Физико-механические характеристики бетона

№ п/п	Вид бетона	Прочность бетона в 28 сут., МПа				Модуль упругости, ГПа		Фактический класс бетона при коэффициенте вариации 10%
		R	R _b	R _{bt}	R _{tt}	E _b	E _{дин}	
Сверхвысокопрочный бетон								
1.	Фибробетон	152.6	132.5	9.6	22.6	48.4	54.6	B134

Нагружение модели производилось нелинейно с определением автоматического шага на первоначальных этапах 0.5 кН и уменьшением шага до 0.05 кН на этапе предшествующему образованию трещин.

Закрепление опорной площадки балки производилось наложением ограничений перемещений по трем направлениям по нижней поверхности площадки.

По результатам расчета получены напряжения в элементах балки, деформированные схемы, схемы расположения трещин при различных стадиях нагружения, а также определен момент возникновения трещин.

Момент возникновения трещин определен на шаге 46 и соответствует нагрузкам на консоли балки 21.4 кН. Схемы расположения трещин в этот момент приведены на рисунке 7 и рисунке 8.

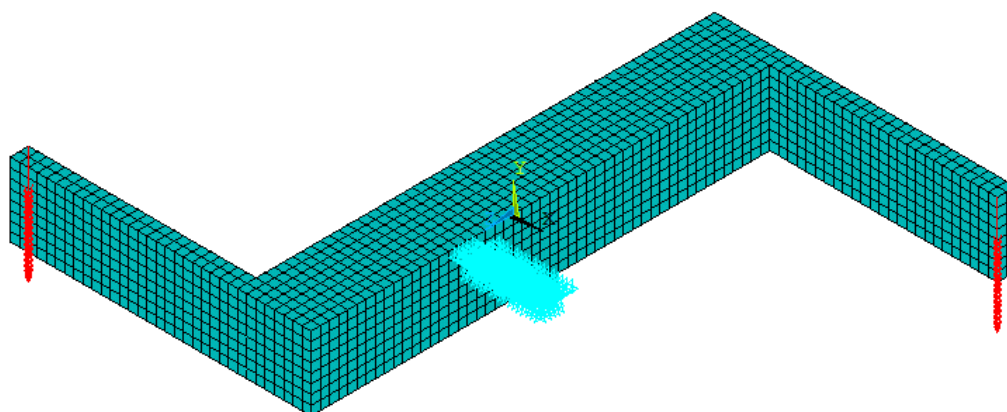


Рисунок 6 - Модель рассматриваемого образца с построенной сеткой конечных элементов и приложенными нагрузками

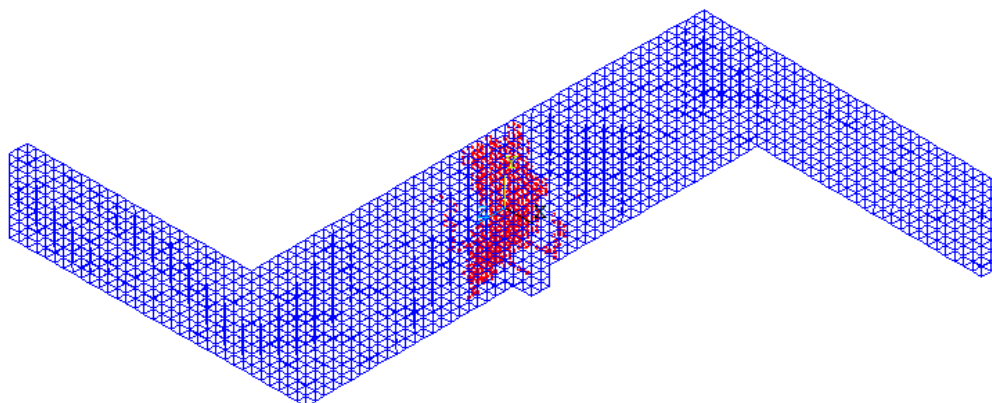


Рисунок 7 - Схема расположения трещин в балке

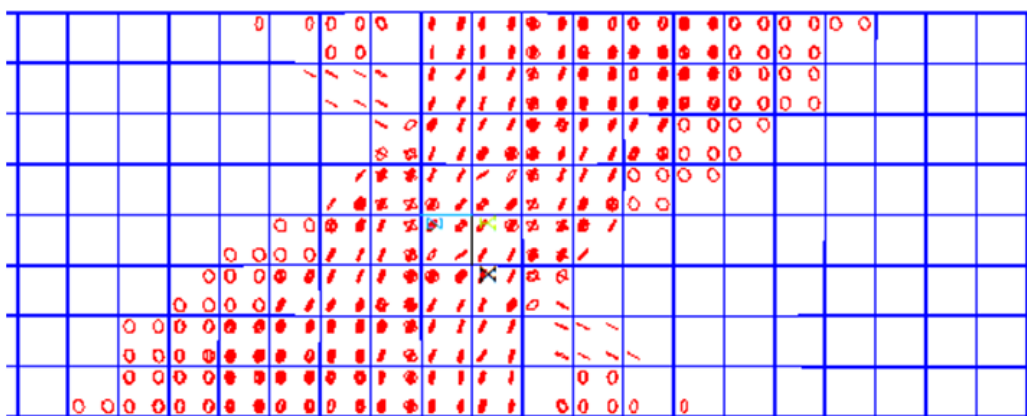


Рисунок 8 - Схема расположения трещин в балке. Вид сверху

Растягивающие напряжения в бетоне, предшествующие моменту появления трещин составили 22 МПа (рисунок 9). Растягивающие напряжения в арматуре – 240 МПа (рисунок 10).

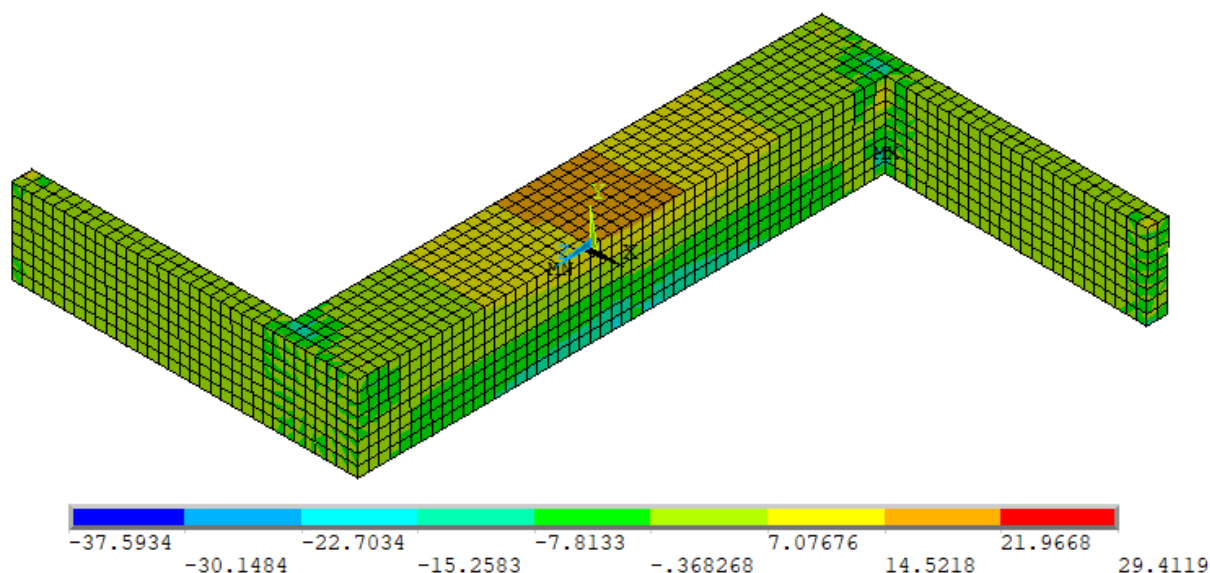


Рисунок 9 - Главные напряжения в бетоне предшествующие моменту возникновения трещин

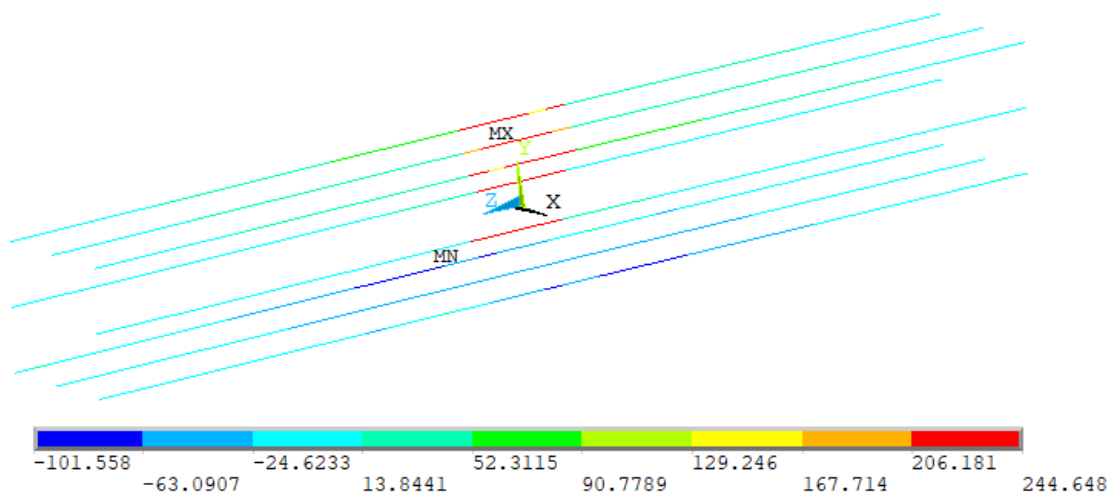


Рисунок 10 - Напряжения в арматуре предшествующие моменту возникновения трещин в бетоне

Деформированная схема балки в момент возникновения трещин приведена на рисунке 11. Перемещения концов консолей в момент образования трещин составили 6 мм.

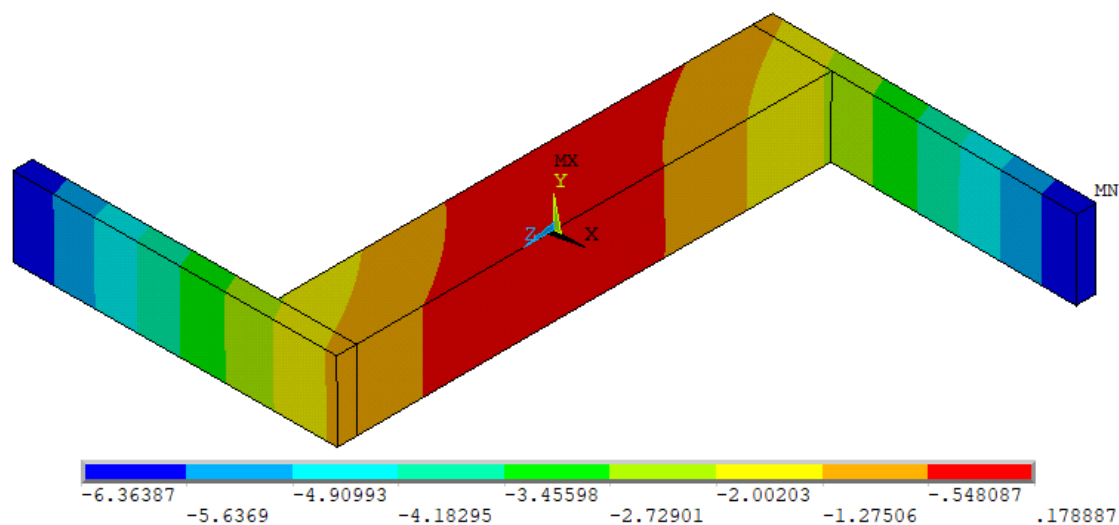


Рисунок 11 - Деформированная схема балки в момент образования трещин

Момент разрушения балки определен на шаге 48 и соответствует нагрузкам на консоли балки 21.6 кН. Схемы расположения трещин в этот момент приведены на рисунке 12.

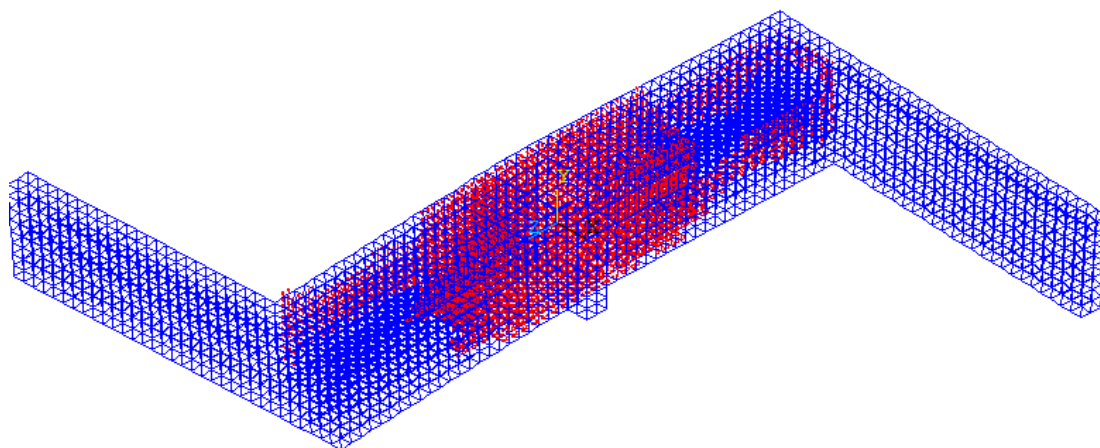


Рисунок 12 - Схема расположения трещин в балке

Растягивающие напряжения в арматуре практически во всех продольных стержнях составили – 280 МПа (рисунок 13).

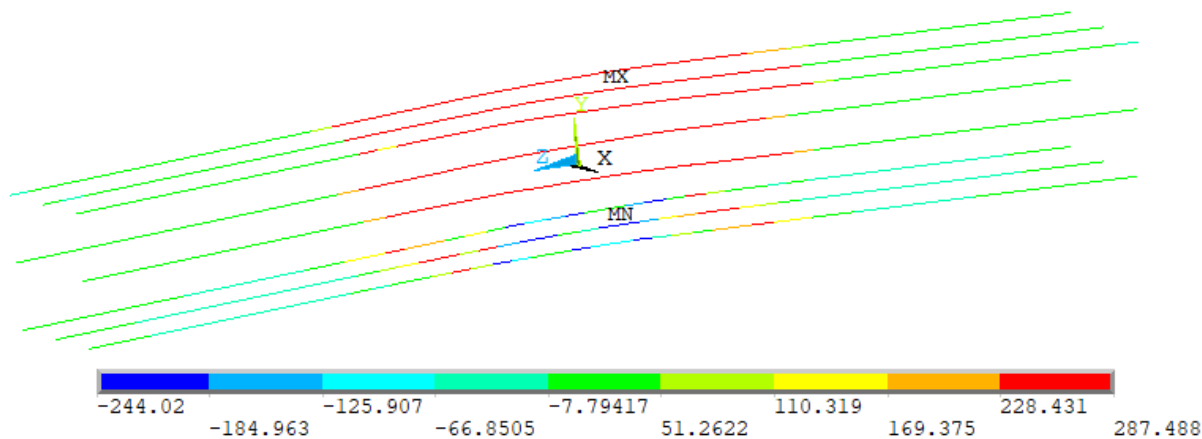


Рисунок 13 - Напряжения в арматуре в момент разрушения балки

Деформированная схема балки, предшествующая моменту разрушения приведена на рисунке 14. Перемещения концов консолей в этот момент составили 51 мм.

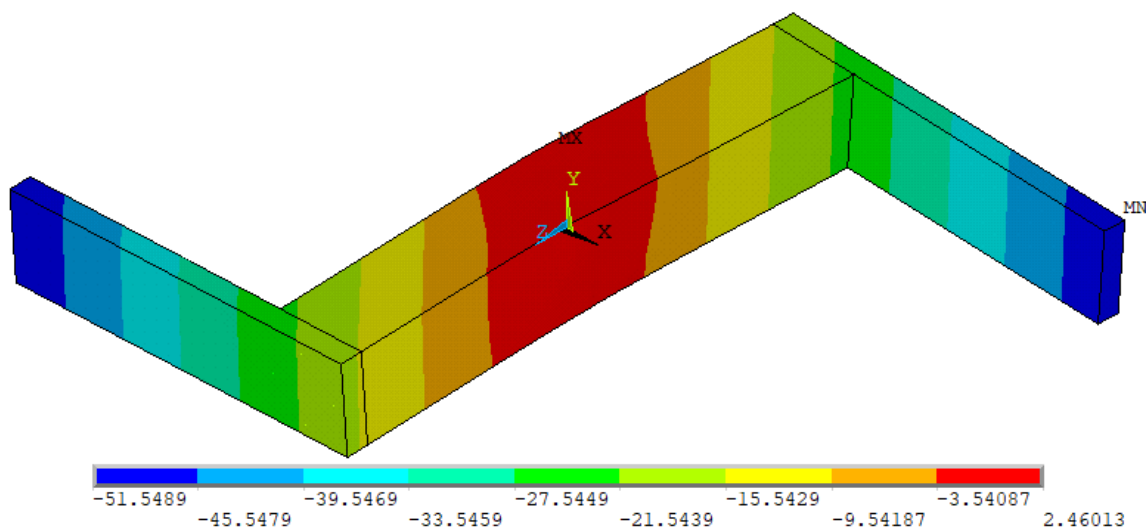


Рисунок 14 - Деформированная схема балки в момент образования трещин

По результатам проведенных расчетов были определены значения усилий, передаваемых на консоли балок в моменты возникновения трещин и в момент разрушения. При этом, полученные усилия в момент возникновения трещин в балке при расчете (21.4 кН) близки к полученным в результате эксперимента (21 кН, 22.5 кН), а усилия полученные в момент разрушения при расчете (21.6 кН) несколько отличаются от экспериментальных данных (26.5 кН, 27.5 кН).

Деформированная схема балки определяется существенными перемещениями консолей, что обусловлено поворотом сечения с образованием пластического шарнира (вследствие достижения арматурой предела текучести) в центре балки, который соответствует моменту образования трещин и составил 21.4 кН.

Фактическое разрушение балки при проведении эксперимента произошло не так быстро, по сравнению с расчетом, с образованием пластических деформаций и отсутствием хрупкого разрушения.

Также одной из отличительных особенностей при проведении экспериментов являлся рост одной основной трещины, чего на данном этапе не удалось получить в расчетах, т.к. при использовании расчетного комплекса в момент трещинообразования образуется сетка трещин, которая по мере увеличения нагрузки захватывает все большую поверхность рассматриваемой балки.

Такое значительное отличие требует разработки подпрограмм для возможности корректировки расчетной модели и приведения получаемых результатов в соответствие с экспериментальными данными.

Выводы

1. При проведении экспериментальных исследований было установлено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона увеличивается в основном одна прогрессирующая трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе.

2. Образование единичной пространственной трещины в рассмотренных образцах приводило к быстрому раскрытию этой трещины, значительному росту деформаций, с соответствующим ростом прогибов и углов поворота.

3. Программный комплекс ANSYS позволяет производить объемное моделирование железобетонных элементов с учетом армирования и назначения нелинейных диаграмм работы бетона и арматуры. Момент образования трещин (передаваемое усилие), полученный в результате расчета близок к результатам полученным экспериментально.

4. В отличие от экспериментальных данных о образовании одной главной трещины, при расчете в программном комплексе образуется сеть трещин, что требует дополнительного анализа и разработки специальных подпрограмм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №6. С. 32-43.
2. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. №15(1). С.51-61.
3. Демьянов А.И. Особенности трещинообразования в конструкциях из высокопрочного железобетона при сложном сопротивлении – кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2019. №5. С. 3-10.
4. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Булкин С.А., Московцева В.С.. Результаты экспериментальных исследований сложнапряженных балок круглого поперечного сечения из высокопрочного фиброжелезобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. №16 (4). С 290-297.
5. Колчунов Вл. И., Сальников А.С. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2016. № 3(65). С. 24–32.
6. Морозов В.И., Бахотский И.В. К расчету фиброжелезобетонных конструкций, подверженных совместному воздействию кручения с изгибом // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5.
7. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
8. Сальников А.С., Ключева Н.В., Колчунов В.И. Метод определения минимальной нагрузки и координат образования пространственной трещины в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №1. С. 52–57.
9. Сальников А.С., Колчунов Вл.И., Колчунов В.И. Методика расчета предельной нагрузки и координат образования пространственной трещины первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2015. №6(62). С. 49– 56.
10. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сальников А.С., Михайлов М.М. Расчетные модели статикодинамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины // Строительство и реконструкция. 2017. №3 (71). С. 13–22.
11. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
12. Awadh E.A. Torsion plus bending and shear on reinforced concrete beams. Journal of Engineering and Sustainable Development. 2016. No.4. P. 277– 288.
13. Khaldoun Rahal. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants. ACI Structural Journal. 2007. Vol. 104. No. 4. Pp. 402–411
14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
15. David A.E., Thomas L.H., Simon A.N., Jonathan E.C. Veering and nonlinear interactions of a clamped beam in bending and torsion. Journal of Sound and Vibration. 2018. Vol. 416. Pp. 1-16.

REFERENCES

1. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy konstruktсий kvadratnogo i korobchatogo secheniy iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom [Results of experimental studies of square and box-section structures made of high-strength concrete under torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. No. 6. Pp. 32-43.

2. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.L.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Osnovnyye rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy zhelezobetonnykh konstruktсий iz vysokoprochnogo betona B100 kruglogo i kol'tseвого secheniy pri kruchenii s izgibom [Main results of experimental studies of reinforced concrete structures made of high-strength concrete in the form of round and ring sections during torsion with bending]. Construction mechanics of engineering structures and structures. 2019. No. 15(1). Pp. 51-61.
3. Demyanov A.I. Osobennosti treschinoobrazovaniya v konstruktсиyah iz visokoprochnogo zhelezobetona pri slozhnom soprotivlenii – kruchenii s izgibom [Crack formation in high-strength reinforced concrete structures at complex resistance – torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 5. Pp. 3-10.
4. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.L.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Bulkin S.A., Moskovtseva V.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy slozhnynapryazhennykh balok kruglogo poporechnogo secheniya iz visokoprochnogo fibrozhelezobetona [Results of experimental studies of high-strength fiber reinforced concrete beams with round cross-sections under combined bending and torsion]. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2020. No. 16 (4). Pp. 290-297.
5. Kolchunov V.L.I., Salnikov A.S. Eksperimental'nyye issledovaniya treshchinoobrazovaniya zhelezobetonnykh konstruktсий pri kruchenii s izgibom [Experimental studies of crack formation of reinforced concrete structures under torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2016. No. 3 (65). Pp. 24-32.
6. Morozov V.I., Bakhotsky I.V. K raschetu fibrozhelezobetonnykh konstruktсий, podverzhennykh sovmestnomu vozdeystviyu krucheniyu s izgibom [To the calculation of fiber-reinforced concrete structures exposed to the joint effect of torsion with bending.] Sovremennyye problem nauki i obrazovaniya. 2013. No. 5.
7. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. The computational model of a power resistance of reinforced concrete [Computational models of the force resistance of reinforced concrete: monograph]. Moscow, ASV Publ., 2004. 472 p.
8. Salnikov A.S., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Metod opredeleniya minimal'noy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny v zhelezobetonnykh konstruktсиyah pri kruchenii s izgibom [Method for determining the minimum load and coordinates of spatial crack formation in reinforced concrete structures during torsion with bending]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. No.1. Pp. 52–57.
9. Salnikov A.S., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I. Metodika rascheta predel'noy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny pervogo vida v zhelezobetonnykh konstruktсиyah pri kruchenii s izgibom [Method for calculating the maximum load and coordinates of the formation of a spatial crack of the first type in reinforced concrete structures during torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2015. No. 6(62). Pp. 49– 56.
10. Demyanov A.I., Kolchunov V.I., Salnikov A.S., Mihajlov M. M. Raschetnye modeli statikodinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnoy konstruktsii pri kruchenii s izgibom v moment obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny [Computational models of static-dynamic deformation of a reinforced concrete structure during torsion with a bend at the moment of formation of a spatial crack]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. No.3 (71). Pp. 13–22.
11. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. the computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. Applied Mechanics and Materials. Vols. 725-726 (2015). Pp. 784-789.
12. Awadh E.A. Torsion plus bending and shear on reinforced concrete beams. Journal of Engineering and Sustainable Development. 2016. No.4. P. 277– 288.
13. Khaldoun Rahal. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants. ACI Structural Journal. 2007. Vol. 104. No. 4. Pp. 402–411.
14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
15. David A.E., Thomas L.H., Simon A.N., Jonathan E.C. Veering and nonlinear interactions of a clamped beam in bending and torsion. Journal of Sound and Vibration. 2018. Vol. 416. Pp. 1-16.

Информация об авторе:

Булкин Сергей Александрович
ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,
главный специалист-конструктор.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com

Information about author:

Bulkin Sergey A.
ZAO GORPROJECT, Moscow, Russia,
chief design specialist.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com

М.К. ИЩУК¹, В.Л. ИЩУК², Г.И. ШАПИРО¹ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия²Бизнес-студия «КОНФИГУРАТОР», г. Москва, Россия

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В КЛАДКЕ ЛИЦЕВОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. На основе проведенных экспериментальных и численных исследований установлен механизм образования трещин в кладке лицевого слоя с гибкими связями при температурных воздействиях.

Экспериментальные исследования проводились в течение пяти лет на фрагменте здания высотой на этаж, образованном наружными трехслойными стенами, опирающимися на монолитную железобетонную плиту.

Численные исследования проводились с использованием авторской специализированной программы расчета каменных конструкций, реализующей метод конечных элементов с учетом конструктивной нелинейности. Верификация программы выполнена сравнением результатов расчетов с данными экспериментов, а также на стадии до образования трещин с использованием программы ЛИРА-САПР.

Показано, что в зависимости от соотношения прочности кладки на растяжение по вертикальному сечению и срез по горизонтальным растворным швам возможны различные варианты развития трещин.

Вертикальные трещины подобно деформационным швам снижают уровень растягивающих и касательных напряжений. Срез кладки по горизонтальному растворному шву в основании стены приводит к сокращению длины участка влияния плиты перекрытия. Все вместе это приводит к снижению уровня растягивающих и касательных напряжений и затуханию процесса развития трещин.

Вверху стены влияние плиты перекрытия на напряженно-деформированное состояние (НДС) кладки относительно невелико и температурные деформации там близки к свободным. Это позволило применить упрощенную методику для оценки ширины раскрытия трещин.

Предложен метод расчета кладки лицевого слоя на температурные воздействия и назначения расстояний между вертикальными температурными швами.

Ключевые слова: трехслойные стены с гибкими связями, лицевой слой кладки, совместная работа кладки и плиты перекрытия, НДС кладки лицевого слоя, температурные деформации, методика оценки ширины раскрытия трещин.

М.К. ISHCHUK¹, V.L. ISHCHUK², G.I. SHAPIRO¹Reserch Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko, Moscow, Russia²CONFIGURATOR Business Studio, Moscow, Russia

MECHANISM OF THE FORMATION OF CRACKS IN THE BRICK VENEER OF THE EXTERIOR WALLS WITH FLEXIBLE TIES UNDER TEMPERATURE INFLUENCES

Abstract. On the basis of the carried out experimental and numerical studies, the mechanism of crack formation in the masonry of the face layer with flexible ties under temperature influences has been established.

Experimental studies were carried out for five years on a floor-high fragment of a building formed by external three-layer walls resting on a monolithic reinforced concrete slab.

Numerical studies were carried out using the author's specialized program for calculating masonry structures, which implements the finite element method, taking into account structural

nonlinearity. The program was verified by comparing the calculation results with the experimental data, as well as at the stage before the formation of cracks using the LIRA-SAPR program.

It is shown that, depending on the ratio of the tensile strength of the masonry along the vertical joints and the cut along the horizontal mortar joints, different variants of crack development are possible.

Vertical cracks, like expansion joints, reduce tensile and shear stresses. Cutting the masonry along the horizontal mortar joint at the base of the wall leads to a reduction in the length of the area of influence of the floor slab. Together, this leads to a decrease in the level of tensile and tangential stresses and damping of the crack propagation process.

At the top of the wall, the effect of the floor slab on the stress-strain state of the masonry is relatively small and the temperature deformations there are close to free. This made it possible to apply a simplified methodology for assessing the crack opening width.

A method is proposed for calculating the facing layer masonry for temperature effects and for assigning distances between vertical expansion joints.

Keywords: *three-layer walls with flexible ties, front layer of masonry, joint work of masonry and floor slabs, stress-strain state, thermal deformations, width estimation method opening cracks.*

Введение

Напряженно-деформированному состоянию (НДС) кладки лицевого слоя наружных стен при температурных воздействиях посвящено много исследований как у нас в стране [1-14, и др.], так и за рубежом [15-20 и др.]. Если большинство этих исследований ограничиваются нахождением предельных значений напряжений, при которых возможно образование трещин, то в ряде работ авторов статьи [13, 14 и др.] анализируется также изменение НДС кладки лицевого слоя с учетом образования трещин при температурных воздействиях.

В европейских странах конструктивное решение наружных стен, опирающихся на железобетонные плиты перекрытий, отличается от принятого в России. Кладка свешивается на несколько сантиметров с плиты и на эту же толщину торец плиты закрывается эффективным утеплителем. В России такая конструкция в большинстве регионов неприемлема в силу необходимости установки утеплителя толщиной от 15 до 20 см. В этой связи утеплитель располагают в отверстиях в плите перекрытия и торец плиты оказывается открытым и подверженным температурным колебаниям.

В большинстве работ зарубежных авторов, посвященных исследованию НДС кладки при температурно-влажностных воздействиях, кладка аппроксимируется изотропными конечными элементами (КЭ) типа балка-стенка. Плита, на которую опираются стены, задается балкой постоянного сечения. Температурная нагрузка прикладывается только к стене.

В работе российских авторов [6] анализируются приведенные в статье [15] исследования, а также положения ряда нормативных европейских документов. Авторы справедливо считают, что «...перенос зарубежных решений по устройству деформационных швов без адаптации к российским условиям неприемлем. При этом требуется проведение дополнительных исследований...».

В работах бельгийского автора [20] отмечается, что «...не существует единообразных правил определения расстояния между деформационными швами, принятых в Национальных приложениях ЕС 6. С научной точки зрения не может быть объяснено, почему расстояние между деформационными швами должно быть разным в соседних странах, таких как Бельгия, Нидерланды и Германия, поскольку климатические условия сопоставимы. ... Иногда расстояние принимается не более нескольких метров, в то время как для других зданий вертикальные швы располагаются каждые 20 м и более без видимых трещин. В большинстве аналитических и численных исследований, касающиеся расстояния между вертикальными деформационными швами, влияние зависящего от времени поведения кладки... пренебрегается и моделирование основывается на критериях без трещин. Эти предположения... приводят к нереалистичным значениям расстояния между деформационными швами...».

В работах [9-13 и др.] авторами настоящей статьи была показана необходимость учета

совместной работы кладки лицевого слоя с плитой перекрытия не только на опоре, но и с расположенной внутри помещения частью плиты, имеющей другую температуру.

В данной статье анализируется процесс образования трещин в лицевом слое, ширина их раскрытия и даются практические рекомендации по расчету.

Критерии обоснованности выбранных расчетных моделей и характеристик материалов

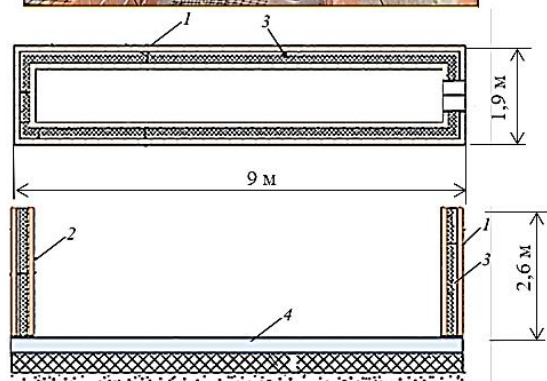


Рисунок 1 – Фрагмент здания: а – общий вид; б – возведение стен; в – план стен; г – разрез:
1, 2 – кладка лицевого и внутреннего слоев толщиной по 12 см; 3 – утеплитель 15 см с воздушным зазором 3 см; 4 – железобетонная плита [12]

В качестве критерия обоснованности выбранных расчетных моделей и характеристик материалов принимались результаты экспериментальных исследований, в том числе фрагмента здания (рисунок 1) [12], проводимых в течение пяти лет, его расчетов методом конечных элементов (МКЭ) по различным расчетным схемам с использованием объемных и плоских КЭ, варьированием их размеров и характеристиками материалов, а также результаты проводившихся натурных наблюдений строящихся и эксплуатируемых зданий с дефектами кладки лицевого слоя наружных стен [9, 10 и др.].

Ниже рассматриваются наружные стены, лицевой слой которых (1) соединен с внутренним (2) гибкими связями. Пространство между слоями заполнено утеплителем (3). Стены поэтажно опираются на монолитные железобетонные плиты перекрытий (4), торец которых является открытым (рисунок 1).

Численные исследования проводились с использованием авторской специализированной программы расчета каменных конструкций «КАМКОН», реализующей МКЭ с учетом конструктивной нелинейности [13, 14]. Верификация программы на стадиях до образования трещин проводилась сравнением полученных результатов с результатами экспериментальных и численных исследований с помощью программного комплекса ЛИРА-САПР, а с учетом образования трещин по экспериментальным данным.

В холодное время года в лицевом слое вследствие сдерживания свободных температурных

деформаций кладки железобетонной плитой в ней возникают горизонтальные растягивающие напряжения σ_x , способные вызвать вертикальные трещины. На рисунке 2 показаны трещины, возникшие в кладке продольных наружных стен экспериментального фрагмента.

Существуют два различных подхода к расчету каменной кладки с применением МКЭ. Первый из них основан на рассмотрении кладки в виде «макромодели», как гомогенной ортотропной среды с усредненными характеристиками. Жесткость КЭ задается эквивалентной жесткости кладки, а прочность оценивается по тому или иному критерию для плоского напряженного состояния.

При втором способе кладка рассматривается в виде «микромоделей», как кусочно-однородный материал с периодической внутренней структурой. Конечные элементы кирпича и раствора задаются отдельно.

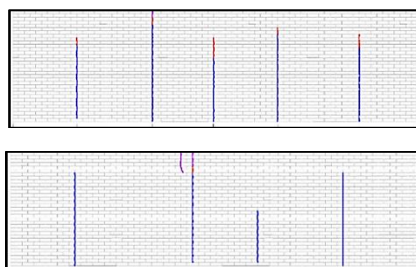


Рисунок 2 – Трещины в кладке лицевого слоя продольных наружных стен экспериментального фрагмента здания [12]

В работе Р. Lourenco [21], опубликованной еще в 1995 г., показано, что применение «микромоделей» позволяет получить хорошую сходимость с результатами эксперимента. Расчет с применением «макромоделей» позволил получить Р. Lourenco качественную картину с выделением области, где возможно образование трещин.

Несмотря на прогресс в развитии вычислительной техники, расчет с использованием «микромоделей», особенно в нелинейных расчетах, выполняется крайне редко для небольших фрагментов в исследовательских целях. Например, в работе О.В. Кабанцева [22] габариты фрагментов составляли 1×1 м при длине составляющих кладку кирпичей 25 см.

Расчет кладки, как гомогенной среды, позволяет получить результаты, достаточные для оценки несущей способности кладки, ее деформаций и характера образования трещин. Вместе с тем, применение указанной модели требует в ряде случаев учета размеров КЭ, поскольку при крупной разбивке сложно «поймать» пиковые значения напряжений и деформаций на участках концентрации напряжений и т.п. Особенно это важно при проверке кладки на возможность образования трещин.

В работе Н.С. Блохиной [23] показано, что учет физической нелинейности кладки позволяет уточнить результаты расчетов не более, чем на 11% при кратковременном приложении нагрузки. При этом, как показано С.В. Поляковым [24], полные деформации кладки при длительном нагружении значительно выше неупругих кратковременных и ими вообще можно пренебречь.

При выполнении численных исследований авторами физическая нелинейность принята несущественной по сравнению с конструктивной, обусловленной образованием трещин.

В работах Г.Г. Кашеваровой [25], В.Н. Деркача [26] показано, что учет ортотропии кладки также не приводит к существенному уточнению результатов расчета НДС кладки.

Во многих работах [27 и др.] задание трещины осуществляется посредством расшивки схемы по узлам, которые расположены вдоль линии распространения трещин. Этот подход авторы использовали и в программе «КАМКОН», где траектория развития трещин определяется алгоритмом программы и корректируется на каждом шаге в зависимости от угла наклона площадки главных растягивающих напряжений и от нарушения того или иного критерия прочности для кладки (рисунок 3).

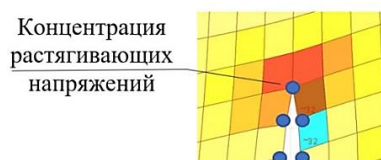


Рисунок 3 – Схема образования трещины

При оценке приоритета образования или развития существующих трещин, к которым относятся также незаполненные раствором вертикальные швы, к растягивающим напряжениям вводится коэффициент концентрации k .

При закрытии трещины в узлах, лежащих по разным берегам трещины, производится объединение перемещений в направлении, препятствующем наложению противоположных берегов трещин один на другой.

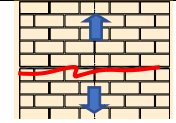

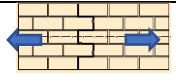
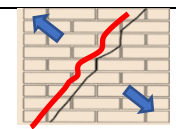
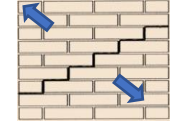
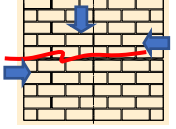
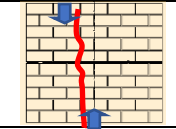
В случае превышения критерия прочности на срез между двумя КЭ также добавляются

узлы, однако между вновь образованными узлами и существовавшими ранее сохраняется односторонняя связь, работающая только на сжатие.

Критерии прочности кладки при плоском напряженном состоянии

В программе КАМКОН использованы апробированные экспериментами критерии не превышения напряжениями соответствующей прочности кладки по перевязанному или неперевязанному сечениям (таблица 1).

Таблица 1 - Реализованные в программе КАМКОН критерии прочности

	Прочность на растяжение по неперевязанному сечению, проходящему по горизонтальным швам $R_{t,z}$: $\sigma_z \leq R_{t,z}$
	Прочность на растяжение по перевязанному сечению, проходящему по вертикальным швам и кирпичу $R_{t,x1}$: $\sigma_x \leq R_{t,x1}$
	Прочность на растяжение по перевязанному сечению, проходящему по вертикальным швам и кирпичу $R_{t,x2}$: $\sigma_x \leq R_{t,x2}$
	Прочность на растяжение по наклонному перевязанному сечению, проходящему через кирпичи R_{w1} : $\sigma_w \leq R_{w1}$
	Прочность на растяжение по наклонному перевязанному сечению, проходящему по горизонтальным и вертикальным швам R_{w2} : $\sigma_w \leq R_{w2}$
	Прочность на срез по горизонтальным швам: $\tau \leq R_{sq} + 0,8\mu\sigma_0$
	Прочность кладки на срез по вертикальным швам и кирпичу: $\tau \leq R_{sq}$
σ_x – горизонтальные растягивающие напряжения; σ_z – вертикальные растягивающие напряжения; σ_w – главные растягивающие напряжения; σ_0 – напряжение сжатия; μ – коэффициент трения по шву кладки; n – коэффициент, зависящий от пустотности кирпича	

Кроме того, в критерии КАМКОН реализован критерий по допускаемой ширине раскрытия трещин.

Алгоритмом предусмотрено на каждом шаге приоритетное образование трещины, среза или разрушения в том конечном элементе, где процентное отношение нарушения прочности по одному из рассматриваемых критериев выше.

НДС кладки лицевого слоя трехслойных стен с гибкими связями

До образования трещин напряжения σ_x распределены в пределах так называемой активной зоны, граница которой может быть описана окружностью радиусом $R_{ак}$, равным половине длины стены L_x . Внутри этой границы напряжения распределены, практически, по треугольным эпюрам (рисунки 4,а, 4,б).

При высоте стены H , равной или большей половине расстояния между вертикальными деформационными швами L_x , напряжения σ_x в любом сечении, расположенном на высоте H_i , можно вычислить по формуле:

$$\sigma_x(H_i) = \sigma_x(H_0) \cdot (1 - 2 \cdot H_i / L_x). \quad (1)$$

Касательные напряжения τ в основании стены распределены по криволинейной эпюре с концентрацией напряжений по краям (рисунок 3,в). Коэффициент концентрации k_τ , определенный численным методом, может быть принят равным 1,4.

С учетом этого запишем:

$$\tau_{\max, \text{конц}} = k_{\tau} \cdot \tau_{\max} = k_{\tau} \cdot \sigma_{x, \max}. \quad (2)$$

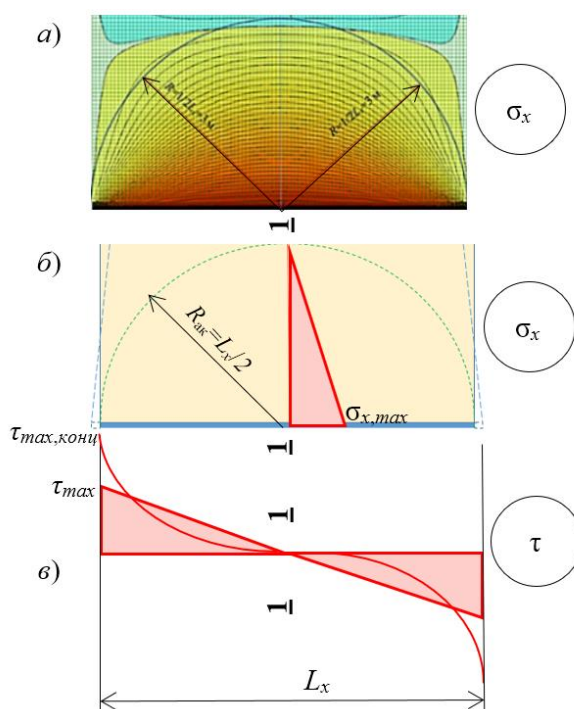


Рисунок 4– Напряжения в кладке лицевого слоя: а – изополя горизонтальных растягивающих напряжений σ_x ; б – идеализированная эпюра горизонтальных растягивающих напряжений σ_x ; в – эпюры касательных напряжений в основании стены

В сечении 1-1, проходящем по середине расстояния между деформационными швами, площадь эпюры напряжений σ_x равна площади эпюры касательных напряжений τ . Если заменить криволинейную эпюру τ треугольной той же площади, то из равенства их площадей следует:

$$0,5\tau_{\max} \cdot L_x/2 = 0,5\sigma_{x, \max} \cdot L_x/2; \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \sigma_{x, \max}.$$

Существует вероятность того, что в основании стены прочность кладки на срез по горизонтальному растворному шву со стороны вертикальных деформационных швов, где наблюдается концентрация касательных напряжений, будет превышена раньше, чем начнется образование вертикальных трещин.

Прочность кладки на срез по горизонтальным растворным швам зависит от коэффициента трения кирпича по раствору μ и уровня вертикальных напряжений σ_z и определяется по видоизмененной формуле Кулона:

$$\tau_{\max, \text{конц}} < R_{\text{sq, ult}} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z, \quad (4)$$

где $\tau_{\max, \text{конц}}$ – максимальное значение касательных напряжений с учетом их концентрации;

$R_{\text{sq, ult}}$ – прочность срезу по горизонтальному растворному шву;

n – коэффициент, зависящий от наличия вертикальных пустот в кирпиче.

Обжатие собственным весом кладки высотой на один этаж не способно компенсировать возникающие при температурных воздействиях вертикальные растягивающие напряжения вблизи вертикальных деформационных швов (рисунок 5), однако на некотором расстоянии от них напряжения σ_z становятся сжимающими. Это способствует повышению прочности на срез и его затуханию по мере удаления от края стены.

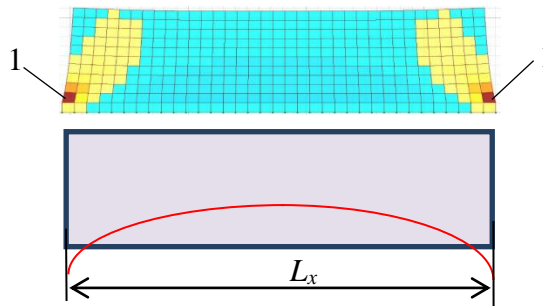


Рисунок 5 – Вертикальные напряжения σ_z : 1 – зоны положительных значений σ_z

В таблице 2 приведены мозаики горизонтальных напряжений и соответствующие им идеализированные схемы образования трещин по двум основным вариантам. По первому варианту максимальные величины напряжений $\sigma_{x,max}$ достигают прочности кладки на растяжение по вертикальному сечению $R_{t,ult}$ раньше, чем касательные напряжения $\tau_{max,конц}$ прочности кладки на срез по горизонтальному растворному шву.

При высоте активной зоны, превышающей высоту стены ($H_{акт} > H$), верх эпюр горизонтальных напряжений σ_x срезан и зеркально отображается, суммируясь с нижележащей частью эпюры (этап 1).

На втором этапе максимальные величины напряжений $\sigma_{x,max}$ превышают прочность кладки на растяжение. В вершине образовавшейся трещины наблюдается концентрация горизонтальных растягивающих напряжений, величины напряжений $\sigma_{x,конц}$ существенно превышают напряжения $\sigma_{x,max}$, что способствует дальнейшему развитию трещины. По мере развития вертикальной трещины происходит снижение уровня касательных напряжений $\tau_{max,конц}$.

При достаточном уровне температурной нагрузки вертикальная трещина достигает верха стены и разделяет кладку лицевого слоя на две части. Влияние образовавшейся трещины подобно влиянию вертикального деформационного шва. Уровни горизонтальных и касательных напряжений в основании стены $\sigma_{x,max}$ и $\tau_{max,конц}$ становятся существенно ниже начальных значений.

На третьем этапе при достаточном уровне температурной нагрузки возникают вторичные вертикальные трещины. Как правило, эти трещины не достигают верха стены.

При втором варианте касательные напряжения $\tau_{max,конц}$ достигают прочности кладки на срез раньше, чем горизонтальные напряжения $\sigma_{x,max}$ прочности кладки на растяжение $R_{t,ult}$:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,max} &< R_{t,ult}; \\ \tau_{max,конц} &\geq R_{sq,ult} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z.\end{aligned}$$

Происходит срез кладки. По мере увеличения длины среза происходит сокращение длины участка стены L_x , совместно работающей с плитой перекрытия (таблица 1, вариант 2, этап 1) и соответственно уровней касательных и горизонтальных растягивающих напряжений. Кроме того, на границе среза растет уровень вертикальных напряжений, способствующих повышению прочности на срез (рисунок 4). Все это способствует затуханию дальнейшего среза кладки.

При дальнейшем росте температурной нагрузки возможно образование вертикальных трещин аналогично с первым вариантом.

Первая достигшая верха стены трещина подобна вертикальному деформационному шву, что позволяет оценить возможность образования вторичных трещин, принимая длину стены в два раза меньшей.

Таблица 2 - Схемы образования трещин в кладке лицевого слоя

Мозаики напряжений σ_x		Идеализированные эпюры напряжений	
Вариант 1. Этап 1 - Распределение напряжений до образования трещин			
		$\sigma_{x,max} < R_{t,ult}$; $\tau_{max,конц} < R_{sq,ult} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z$ При $H < H_{акт} = 0,5 \cdot L_x$ $\sigma_x(H_i) = \sigma_{x,max} \cdot (1 - 2 \cdot H_i / L_x)$ При $H_i > 2H - 0,5L_x$ $H_i = 2 \cdot H - 0,5 \cdot L_x = \text{Const}$	
Этап 2 - Образование вертикальных трещин в основании стены и разделение лицевого слоя лидирующей (магистральной) вертикальной трещиной на две части			
		$\tau_{max,конц} < R_{sq,ult} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z$	
Этап 3 - Развитие вторичных лидирующих трещин			
		$\tau_{max,конц} < R_{sq,ult} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z$	
Вариант 2. Этап 1 - Первоначальный срез кладки. Сокращение участка совместной работы стены и плиты. Снижение высоты активной зоны и уровня напряжений σ_x			
	 	$\tau_{max,конц} \geq R_{sq,ult} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_z$	
Вариант 2. Этап 2 – Образование вертикальных трещин			

В работе Г.Г. Кашеваровой [28] выполнена оценка влияния неоднородности свойств каменной кладки на образование трещин при плоском напряженном состоянии. Показано, что при сохранении общего характера трещин их величина может отличаться. Подтверждением этому служат и результаты проведенного эксперимента на фрагменте здания (рисунок 2). При этом представляется интересным то, что в одной из стен фрагмента расстояние между двумя трещинами оказалось примерно в два раза выше, чем между остальными. Можно предположить, что при увеличении температурной нагрузки именно там образуется новая трещина.

Оценка ширины раскрытия трещин

Ниже рассмотрена идеализированная схема раскрытия трещины в кладке лицевого слоя на прямолинейном участке между двумя вертикальными деформационными швами (рисунок 6).

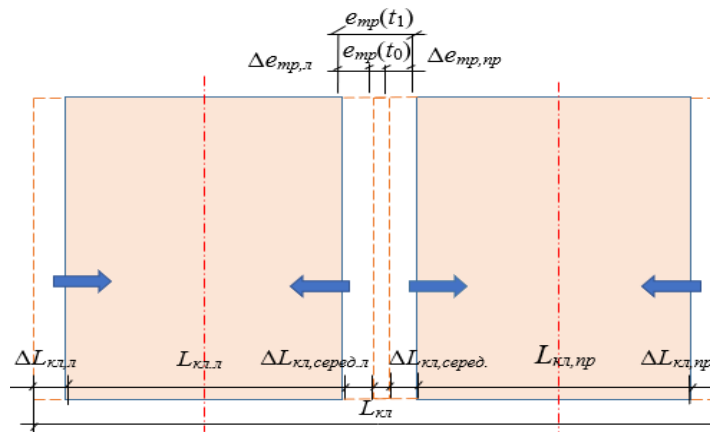


Рисунок 6 – Схема раскрытия трещины в лицевом слое при понижении температуры воздуха:

$e_{tr}(t_0)$ – начальная ширина раскрытия трещины;

$e_{tr}(t_1)$ – ширина раскрытия трещины после понижения температуры кладки

Если лицевой слой разделен на две части вертикальной трещиной, то при расстоянии между температурными швами не более 8 м длина каждой части равна высоте этажа либо незначительно ее превышает. В этом случае сверху стены влияние плиты на НДС кладки невелико и температурные деформации кладки там принимаем свободными. Приращение ширины раскрытия трещины равно:

$$\Delta e_{tr} = \alpha_t \cdot \Delta T (L_{кл,л} + L_{кл,пр}) / 2.$$

Ширина раскрытия трещины $e_{tr}(t_1)$ после понижения температуры равна:

$$e_{tr}(t_1) = e_{tr}(t_0) + \Delta e_{tr},$$

где $e_{tr}(t_0)$ – первоначальная ширина раскрытия трещины. При симметричном расположении трещины получим:

$$e_{tr}(t_1) = e_{tr}(t_0) + \alpha_t \cdot \Delta T (L_{кл}) / 2,$$

где $L_{кл}$ – длина стены между вертикальными деформационными швами.

Назначение расстояний между вертикальными температурными швами

Расстояния между вертикальными деформационными швами в лицевом слое трехслойных стен с гибкими связями целесообразно назначать из соблюдения условий не превышения горизонтальными усилиями N от температурно-влажностных воздействий прочности лицевого слоя и связей при расчете по первой группе предельных состояний и недопустимости образования трещин при расчете по второй группе.

Расстояния между вертикальными деформационными швами не должны превышать значений, определяемых по эмпирической формуле:

$$L_x \leq N/(\beta \cdot A \cdot E \cdot \Delta t \cdot \alpha_t) + b,$$

где b , β – параметры, характеризующие материал кладки, учитывающие влияние температуры при возведении кладки и температуры плиты перекрытия в эксплуатационный период, солнечной радиации, концентрации напряжений на опоре и вблизи проемов;

A – площадь вертикального сечения лицевого слоя, включаемая в работу с плитой перекрытия, принимаемая равной 0,8 м;

E – модуль деформаций кладки;

Δt – расчетная температура кладки лицевого слоя, назначаемая как разность температуры с момента замыкания конструкции (возведения кладки высотой на этаж) и температуры в рассматриваемый период времени;

α_t – коэффициент линейного расширения кладки;

N – горизонтальное усилие, определяемое для случая наступления предельного состояния в кладке и для случая образования первых трещин:

$$N(R_t) = R_t \cdot A;$$

$$N(\sigma_{t,cr}) = \gamma_{cr} \cdot \sigma_{t,cr} \cdot A,$$

где R_t – расчетное сопротивление кладки растяжению по горизонтали;

$\sigma_{t,cr}$ – напряжения в кладке на момент образования первых трещин, принимаемое равным $0,6 \cdot R_{t,ult}$;

$R_{t,ult}$ – временное сопротивление кладки растяжению по горизонтали;

γ_{cr} – коэффициент условий работы кладки при расчете по раскрытию трещин.

Выводы

1. Экспериментальные и численные исследования, выполненные с применением авторской программы «КАМКОН», в основу алгоритма которой заложена «макромодель» кладки с учетом конструктивной нелинейности, позволили установить механизм образования трещин в лицевом слое наружных стен при температурных воздействиях.

2. В основу механизма образования трещин положено представление о лидирующей (магистральной) трещине, разделяющей лицевой слой на всю высоту стены и которая подобно деформационному шву способствует снижению уровня касательных и растягивающих напряжений.

Развитие вторичных трещин возможно после повышения температурной нагрузки.

3. Граница распределения горизонтальных растягивающих напряжений, вызывающих вертикальные трещины, может быть описана окружность с радиусом, равным половине расстояния между вертикальными температурными швами за вычетом длины среза по растворным швам в основании стены. В пределах этой границы напряжения распределены по треугольной эпюре.

4. Вертикальные трещины на прямолинейных участках стен, заключенных между двумя температурными швами, образуются в холодное время года.

В теплое время года возможно образование трещин на углах стен при отсутствии там вертикальных деформационных швов.

5. Расстояния между вертикальными трещинами в идеализированной модели равны между собой.

Вследствие неоднородности кладки, вызванной в том числе плохо заполненными раствором вертикальными швами, выступающими в роли начальных трещин, расстояния между трещинами могут отличаться до 30%, что подтверждается натурными наблюдениями и экспериментальными данными.

Благодарности

Ушел из жизни Геннадий Исаакович Шапиро, крупный специалист, отдавший всю свою жизнь исследованию и разработке современных конструкций зданий. Он был полон творческих замыслов, готовил к публикации монографию. Эта статья является одной из последних, подготовленных с его участием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деркач В.Н., Демчук И.Е., Орлович Р.Б. Механизм повреждаемости несущей облицовки многослойных каменных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. №3 (54). 2017. С. 63-70.
2. Зимин С.С., Корсун В.И. Экспериментальные исследования температурных деформаций лицевого слоя многослойных наружных стен при одностороннем замораживании // Лолейтовские чтения-150. Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям. Под редакцией А.Г. Тамразяна. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва). 2018.
3. Орлова Н.С., Улыбин А.В. Проблемы расчета кирпичной облицовки облегченных стен на температурные воздействия // В сб.: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: материалы V Международной научно-практической конференции: Комсомольский-на-Амуре государственный университет. 2018. С. 230-234.
4. Орлович Р.Б., Деркач В.Н., Зимин С.С. Повреждение каменного лицевого слоя в зоне сопряжения с железобетонными перекрытиями // Инженерно-строительный журнал. 2015. №8(60). С. 30–37.
5. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Сопряжение лицевого слоя сплошных каменных стен с плитами перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №11. С. 60-63.
6. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Рубцов Н.М. О работе облицовочного каменного слоя наружных стен каркасно-монолитных зданий при силовых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2014. № 4 (54). С. 26–30.
7. Шапиро Г.И., Коровкин В.С. К вопросу о напряженно-деформированном состоянии жилых и общественных зданий при температурных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 12. С. 5-8.
8. Ищук М.К., Зуева А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки при температурно-влажностных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 3. С. 40-43.
9. Ищук М. К. Анализ напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен // Жилищное строительство. 2008. № 4. С. 23-28.
10. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки // РиФ «Стройматериалы». М., 2009. 369 с.
11. Ищук М.К. Исследование напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен с гибкими связями при температурно-влажностных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. №1 С. 72-76.
12. Ищук М.К. Экспериментальные исследования НДС кирпичной кладки лицевого слоя наружных стен с гибкими связями на температурно-влажностные воздействия // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 3(18). С. 61-78.
13. Ищук М.К., Ищук В.Л. Численные исследования прочности и деформаций наружных стен с лицевым слоем из каменной кладки с гибкими связями при температурных воздействиях // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. №2. С. 60–73.
14. Ищук М.К., Ищук В.Л. Расчет каменных стен при сдвиге и растяжении // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. С. 31-42.
15. Schubert P. Rißfreie Wandlänge von tragenden, senkrecht zu den Lagerfugen belasteten Mauerwerkswänden aus Porenbetonsteinen. Aachen // Forschungsbericht : Institut für Bauforschung, 1999. № F. 595 p.
16. Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen // Mauerwerk-Kalender. Berlin, 1996. P. 621–651.
17. Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U, Hannawald J. Rißfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk // Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Mauerwerk 10 (2006), Heft 4. S. 132-139.
18. Martens D.R.W. New approach for spacing of movement joints in reinforced and unreinforced masonry veneer walls Part 1 (Neue Bemessungsmethode für die Abstände von Dehnungsfugen in bewehrten und unbewehrten Verblendmauerwerksschalen Teil 1: Unbewehrtes Mauerwerk): Unreinforced masonry / Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, Mauerwerk 20 (2016). Heft 4.

19. Martens D.R.W. New Method for determining spacing of movement joints in solid unreinforced veneer walls // *Proceedings of the 16th IB2MaC. Padua, 2016. P. 255–262.*
20. Martens D. R.W. Typical masonry wall enclosures in Belgium and The Netherlands // *Enclosure masonry wall systems worldwide // CIB W023 – Wall structures. Berlin, 2011. P. 13–14.*
21. Lourenco Paulo B. Two approaches for the analysis of masonry structures: Micro and macro modeling // *Heron. 1995. Vol. 40. P. 313 – 340.*
22. Кабанцев О.В. Механика пластического деформирования и разрушения каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния в сб. *Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы* : МГСУ, 2016. С. 154–165.
23. Блохина Н.С. Расчет конструкций из анизотропных материалов с применением физической нелинейности // *Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 1. С. 3–5.*
24. Поляков С.В. Длительное сжатие каменной кладки. Научное сообщение. М.: Стройиздат, 1959. 183 с.
25. Кашеварова Г.Г., Труфанов Н.А. Численное моделирование деформирования и разрушения системы «здание-фундамент». Екатеринбург-Пермь: УрО РАН, 2005. 225 с.
26. Деркач В.Н. Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния // *Строительство и реконструкция. 2012. №2(40). С. 3 – 10.*
27. Колчунов Вл.И., Мартыненко Д.В. Прочность и деформативность сборно-монолитных платформенных стыков панельных зданий // *Строительство и реконструкция. 2019. №2 (82). С. 26-34.*
28. Кашеварова Г.Г. Программная реализация алгоритма учета статистического разброса механических свойств материалов // *Вестник ПНИПУ, Строительство и архитектура. 2012. №1. С. 133–141.*

REFERENCES

1. Derkach V.N., Demchuk I.E., Orlovich R.B. Mekhanizm povrezhdaemosti nenesushchej oblicovki mnogoslojnyh kamennyh sten [Damage mechanism of non-bearing facing of multilayer masonry walls] *Construction of unique buildings and structures. No. 3 (54). 2017.S. 63-70. (rus)*
2. Zimin S.S., Korsun V.I. Eksperimental'nye issledovaniya temperaturnyh deformacij licevogo sloya mnogoslojnyh naruzhnyh sten pri odностороннем zamorazhivanii [Experimental studies of temperature deformations of the face layer of multilayer external walls during unilateral freezing] *Lolejtovskie chteniya-150. Sovremennye metody rascheta zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij po predel'nyh sostoyaniyam. Pod redakciej A.G. Tamrazyana. Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (Moskva) [Loleitovskie readings-150. Modern methods for calculating reinforced concrete and masonry structures by limiting states. Edited by A.G. Tamrazyan. National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow).] 2018. (rus)*
3. Orlova N.S., Ulybin A.V. Problemy rascheta kirpichnoj oblicovki oblegchennyh sten na temperaturnye vozdejstviya [Problems of calculating brick cladding of lightweight walls on temperature effects] *V sb.: Regional'nye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arhitektury, stroitel'stva, zemleustrojstva i kadaastrov v nachale III tysyacheletiya: materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Komsomol'skij-na-Amure gosudarstvennyj universiteta [In the collection: Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastres at the beginning of the III millennium: materials of the V International scientific and practical conference: Komsomolsk-on-Amur State University] 2018. S. 230-234. (rus)*
4. Orlovich R.B., Derkach V.N., Zimin S.S. Povrezhdenie kamennogo licevogo sloya v zone sopryazheniya s zhelezobetonnyimi perekrytiyami // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Damage to the brick face layer in the zone of conjugation with reinforced concrete floors] Engineering and construction journal. 2015. No. 8 (60). S. 30–37.*
5. Orlovich R.B., Derkach V.N. Sopryazhenie licevogo sloya sploshnyh kamennyh sten s plitami perekrytij [Conjugation of the face layer of solid stone walls with floor slabs] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011. No. 11. S. 60-63. (rus)*
6. Orlovich R.B., Zimin S.S., Rubtsov N.M. O rabote oblicovochного kamennogo sloya naruzhnyh sten karkasno-monolitnyh zdaniy pri silovyh vozdejstviyah [On the work of the facing stone layer of the outer walls of frame-monolithic buildings under power influences] *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2014. No. 4 (54). S. 26-30. (rus)*
7. Shapiro G.I., Korovkin V.S. K voprosu o napryazhenno-deformirovannom sostoyanii zhilyh i obshchestvennyh zdaniy pri temperaturnyh vozdejstviyah [On the question of the stress-strain state of residential and public buildings under temperature influences] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2008. No. 12. S. 5-8. (rus)*
8. Ishchuk M.K., Zueva A.V. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya licevogo sloya iz kirpichnoj kladki pri temperaturno-vlazhnostnyh vozdejstviyah [Investigation of the stress-strain state of the facing layer of brickwork under temperature and humidity influences] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. No. 3. P. 40-43. (rus)*
9. Ishchuk M.K. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kladki licevogo sloya naruzhnyh sten [Analysis of the stress-strain state of the facing layer of the outer walls] *Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2008. No. 4. S. 23-28. (rus)*
10. Ischuk M.K. Otechestvennyj opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoj kladki

[Domestic experience in the construction of buildings with external walls from lightweight masonry] *RiF "Stroimaterialy"*, M. 2009. 369 p. (rus)

11. Ishchuk M.K. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kladki licevogo sloya naruzhnyh sten s gibkimi svyazami pri temperaturno-vlazhnostnyh vozdeystviyah [Investigation of the stress-strain state of the masonry of the front layer of external walls with flexible ties under temperature and humidity influences] *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2018.No. 1 S. 72-76. (rus)

12. Ishchuk, M.K. Eksperimental'nye issledovaniya NDS kirpichnoj kladki licevogo sloya naruzhnyh sten s gibkimi svyazami na temperaturno-vlazhnostnye vozdeystviya [Experimental studies of the stress-strain state of brickwork of the front layer of external walls with flexible ties on temperature and humidity effects] *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2018. No. 3 (18). S. 61-78. (rus)

13. Ischuk M.K., Ishchuk V.L. CHislennye issledovaniya prochnosti i deformacij naruzhnyh sten s licevym sloem iz kamennoy kladki s gibkimi svyazami pri temperaturnykh vozdeystviyah [Numerical studies of the strength and deformation of external walls with a facing layer of masonry with flexible ties under temperature influences] *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2019. No. 2. S. 60–73. (rus)

14. Ishchuk M.K., Ishchuk V.L. Raschet kamennyh sten pri sdvige i rastyazhenii [Calculation of stone walls in shear and tension] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. No. 8. S. 31-42. (rus)

15. Schubert P. Reißfreie Wandlänge von tragenden, senkrecht zu den Lagerfugen belasteten Mauerwerkswänden aus Porenbetonsteinen. Aachen // *Forschungsbericht : Institut für Bauforschung*, 1999. № F. 595 p.

16. Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen // *Mauerwerk-Kalender*. Berlin, 1996. P. 621–651.

17. Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U, Hannawald J. Reißfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk // *Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Mauerwerk* 10 (2006), Heft 4, s. 132-139.

18. Martens D.R.W. New approach for spacing of movement joints in reinforced and unreinforced masonry veneer walls Part 1 (Neue Bemessungsmethode für die Abstände von Dehnungsfugen in bewehrten und unbewehrten Verblendmauerwerksschalen Teil 1: Unbewehrtes Mauerwerk): Unreinforced masonry / *Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin · Mauerwerk* 20 (2016). Heft 4.

19. Martens D.R.W. New Method for determining spacing of movement joints in solid unreinforced veneer walls // *Proceedings of the 16th IB2MaC. Padua*, 2016. P. 255–262.

20. Martens D. R.W. Typical masonry wall enclosures in Belgium and The Netherlands // *Enclosure masonry wall systems worldwide // CIB W023 – Wall structures*. Berlin, 2011. P. 13–14.

21. Lourenco Paulo B. Two approaches for the analysis of masonry structures: Micro and macro modeling // *Heron*. 1995. Vol. 40. P. 313 – 340.

22. Kabancev O.V. Mehanika plasticheskogo deformirovaniya i razrusheniya kamennoy kladki v usloviyah dvuhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Mechanics of plastic deformation and fracture of masonry under biaxial stress conditions] v sb. *Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdeystviya pod redakciej A.G. Tamrazjana, D.G. Kopanicy* [in Sat. *Modern problems of calculating reinforced concrete structures, buildings and structures for emergency impacts edited by A.G. Tamrazyana D.G. Kopanitsy*] MGSU, 2016. S. 154–165. (rus).

23. Blokhina N.S. Raschet konstruksii iz anizotropnykh materialov s primeneniem fizicheskoi nelineinosti // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. [Calculation of structures made of anisotropic materials using physical nonlinearity] *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2012. No. 1. P. 3-5. (rus)

24. Polyakov S.V. Dlitel'noe szhatie kamennoy kladki. *Nauchnoe soobshchenie*. [Prolonged compression of masonry]. *Nauchnoe soobshchenie*. [Scientific communication]. M.: Stroyizdat, 1959. 183 p. (rus)

25. Kashevarova G.G., Trufanov N.A. Chislennoe modelirovanie deformirovaniya i razrusheniya sistemy «zдание-fundament» [Numerical modeling of deformation and destruction of the building-foundation system] *Ekaterinburg-Perm': UrO RAN*, 2005. 225 s. (rus)

26. Derkach V.N. Deformacionnye harakteristiki kamennoy kladki v usloviyah ploskogo napryazhennogo sostoyaniya [Deformation characteristics of masonry in the plane stress state] *Building and reconstruction*. 2012. No. 2 (40). S. 3 – 10. (rus)

27. Kolchunov V.I. Martynenko D.V. Prochnost' i deformativnost' sborno-monolitnyh platformennyh stykov panel'nyh zdaniy [The strength and deformability of precast-monolithic platform joints of panel buildings] *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. Vol. 82. No. 2. Pp. 26-34. (rus)

28. Kashevarova G.G. Programmaya realizatsiya algoritma ucheta statisticheskogo razbroza mekhanicheskikh svoystv materialov [The program for implementing the algorithm for accounting for the statistical dispersion of the mechanical properties of materials] *Bulletin of PNIPU, Construction and Architecture*. №1. 2012. S. 133–141. (rus)

Информация об авторах:

Ищук Михаил Карпович

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений.

E-mail: kamkon@ya.ru

Ищук Вячеслав Леонидович

Бизнес-студия «КОНФИГУРАТОР», г. Москва, Россия,
ведущий программист.

E-mail: slava_1c@mail.ru

Шапиро Геннадий Исаакович

ООО «Техрекон», г. Москва, Россия,
главный конструктор ООО «Техрекон», инженер.

E-mail: g-shapiro@mail.ru

Information about authors:

Ishchuk Mikhail K.

Reserch Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko, Moscow, Russia,
candidate of technical science, head of the laboratory for reconstruction of unique masonry buildings and structures.

E-mail: kamkon@ya.ru

Ishchuk Vyacheslav L.

CONFIGURATOR Business Studio, Moscow, Russia,
leading Programmer.

E-mail: slava_1c@mail.ru

Shapiro Gennady I.

LLC Techrecon, Moscow, Russia,
chief constructor Techrecon LLC, engineer.

E-mail: g-shapiro@mail.ru

С.О. КУРНАВИНА¹, И.В. ЦАЦУЛИН¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ НЕСОМКНУТЫХ ТРЕЩИН В СЖАТОЙ ЗОНЕ БЕТОНА НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Одним из наиболее важных вопросов при расчете зданий и сооружений на сейсмические воздействия является учет наличия повреждений в сжатой зоне бетона. Известно, что в действующих нормах РФ [4] по сейсмостойкому строительству предполагается развитие пластических деформаций в элементах конструкций. При определении нагрузок, возможность развития пластических деформаций в элементах конструкций учитывается введением понижающего коэффициента K_1 , пренебрегая при этом влиянием пластических деформаций на прочность несущих железобетонных элементов. Наличие пластических деформаций в арматуре приводят к возникновению остаточных трещин в сжатой зоне бетона и как следствие, к снижению несущей способности изгибаемых элементов на последующих циклах нагружения. Рассматривается влияние несомкнутых трещин в сжатой зоне бетона изгибаемых железобетонных элементов на их несущую способность при симметричном и несимметричном армировании, различных процентах армирования и коэффициентах пластичности. По результатам расчетов получены данные о несущей способности изгибаемых железобетонных элементов с имеющимися остаточными трещинами в сжатой зоне. Предложен приближенный метод определения глубины остаточной трещины в сжатой зоне бетона в зависимости от коэффициента пластичности в первом полупериоде нагружения.

Ключевые слова: знакопеременные воздействия, остаточные трещины, коэффициент пластичности.

S.O. KURNAVINA¹, I.V. TSATSULIN¹¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THE INFLUENCE OF UNCLOSED CRACKS IN COMPRESSED ZONE OF CONCRETE ON THE BEARING CAPACITY OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Abstract. One of the most important issues when calculating buildings and structures for seismic effects is taking into account the presence of damage in the compressed zone of concrete. It is known that the current norms of the Russian Federation [4] on earthquake-resistant construction assume the development of plastic deformations in structural elements. When determining the loads, the possibility of developing plastic deformations in structural elements is taken into account by introducing a decreasing coefficient K_1 , while neglecting the effect of plastic deformations on the strength of bearing reinforced concrete elements. The presence of plastic deformations in the reinforcement leads to the appearance of residual cracks in the compressed zone of concrete and, as a consequence, to a decrease in the bearing capacity of bending elements in subsequent loading cycles. The influence of unclosed cracks in compressed zone of concrete of bending elements on their bearing capacity for symmetrical and non-symmetrical reinforcement, for different values of reinforcement coefficient and for different values of coefficient of plasticity is considered. Based on the results of calculations the bearing capacity data for bending reinforced concrete elements with residual cracks in compressed zone of concrete have been obtained. The approximate method of determination of residual cracks depth in compressed zone of concrete in terms of coefficient of plasticity in the first semi cycle of loading is proposed.

Keywords: alternating effects, residual cracks, plasticity coefficient.

Введение

Характерной особенностью сейсмического воздействия является возможность возникновения знакопеременных усилий в конструктивных элементах зданий. Значительная часть территорий РФ являются сейсмоопасными, причем около трети из них приходится на регионы, отнесенные с сейсмичностью 8 баллов и выше. В связи с этим развитие новых и уточнение существующих методов расчета зданий на сейсмические воздействия является важной и необходимой задачей, позволяющей наиболее точно оценить возможности конструкций сопротивляться различным сейсмическим воздействиям [1, 2, 3].

Расчеты элементов на сейсмические воздействия проводятся квазистатическим спектральным методом, или используются прямые динамические методы расчета, основанные на непосредственном решении дифференциального уравнения движения системы. Поскольку обеспечение упругой работы конструкций зданий и сооружений при землетрясениях экономически нецелесообразно, то вычисленные по спектральному методу нагрузки затем уменьшаются с учетом допускаемой степени повреждения зданий, обусловленной их ответственностью, путем введения понижающего коэффициента K_1 [4].

Расчет железобетонных конструкций на прочность не учитывает развитие пластических деформаций и как следствие наличие остаточных трещин в сжатой зоне бетона при смене знака усилия. Но как показали результаты расчетов, остаточные несомкнутые трещины существенно снижают рабочую высоту сечения и уменьшают его несущую способность на последующих циклах нагружения. При значительной глубине несомкнутых трещин возможно хрупкое разрушение изгибаемых элементов при воздействии обратного знака [5, 6].

Методика

Аналитический метод определения глубины остаточной трещины

При знакопеременном воздействии большой интенсивности напряженно-деформированное состояние сечения имеет сложный характер. Вследствие развития пластических деформаций возможно наличие остаточных трещин в сжатой зоне бетона, уменьшающих рабочую высоту сечения. Это приводит к снижению несущей способности изгибаемого элемента на следующих циклах нагружения. При значительных величинах коэффициентов пластичности возможно даже хрупкое разрушение конструкции, т.к. остаточная часть сечения оказывается перearмированной [9, 10].

Поскольку имеет место развитие пластических деформаций, как в бетоне, так и в арматуре, напряженно-деформированное состояние сечения и как следствие, глубина остаточных трещин зависит от истории нагружения. Для приближенной оценки возможной глубины ее раскрытия предлагается упрощенный метод, основанный на следующих предположениях:

- Рассматриваются три стадии нагружения конструкции: напряженно-деформированное состояние сечения в момент достижения максимальных пластических деформаций, в момент полной разгрузки и в момент начала раскрытия трещины противоположного знака.

- Деформации и их приращения на всех этапах нагружения и разгрузки подчиняются гипотезе билинейных сечений [12] (рисунок 1 а-в). При величине коэффициента $A=1$ эта гипотеза переходит в известную гипотезу плоских сечений.

- В момент достижения максимальных пластических деформаций диаграмма сжатого бетона « $\sigma - \epsilon$ » принята в виде квадратной параболы, а работа растянутого бетона не учитывается (рисунок 1, а).

– Разгрузка всех слоев бетона происходит по прямым, параллельным касательной в начальной точке диаграммы « σ – ε ». При этом в бетоне и арматуре сохраняются остаточные деформации (рисунок 1,б).

– При нагружении обратного знака приращение деформаций бетона происходит относительно некоторого мгновенного положения нейтральной оси h^{**} (рисунок 1, в).

– Смыкание берегов остаточной трещины происходит в момент возникновения сжимающих напряжений в бетоне, т.е. когда скомпенсированы остаточные растягивающие деформации. Поскольку величина остаточной трещины определяется в момент начала раскрытия трещины на противоположной грани элемента, то предполагается, что при дальнейшем нагружении к моменту начала текучести в арматуре во всех слоях сжатого бетона будут достигнуты напряжения, обеспечивающие надежное смыкание берегов трещины.

– В момент начала раскрытия трещины обратного знака бетон сжатой зоны работает упруго, а напряжения в растянутом бетоне подчиняются параболической зависимости (рисунок 2).

Высоту сжатой зоны бетона в момент достижения максимального прогиба $h_{b,max}$ можно найти из уравнения равновесия продольных сил в сечении:

$$N_b + N_{a1,max} + N_{a2,max} = 0,$$

где N_b – усилие в бетоне сжатой зоны, $N_{a1,max}$ – усилие в растянутой арматуре,

$N_{a2,max}$ – усилие в сжатой арматуре.

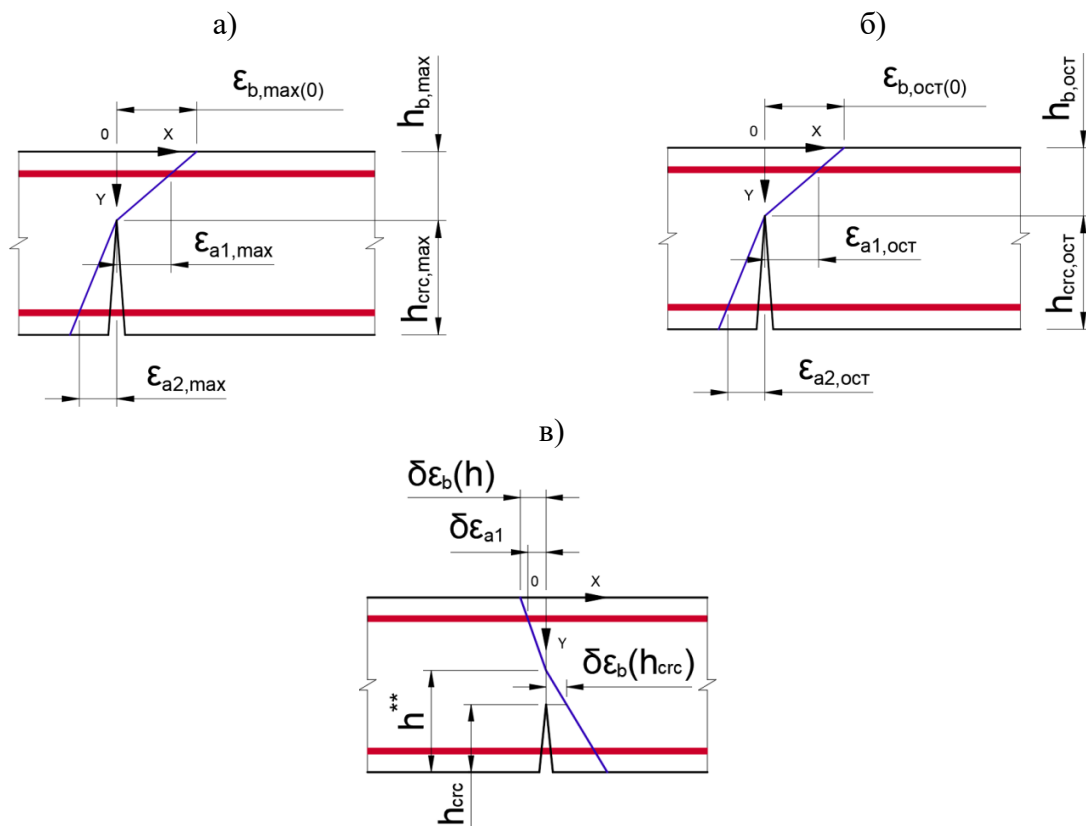


Рисунок 1 – Распределение приращений деформаций по высоте сечения
 а) в момент достижения максимального прогиба; б) в момент разгрузки;
 в) распределение приращений деформаций в момент начала раскрытия трещины

после смены знака внутренних усилий

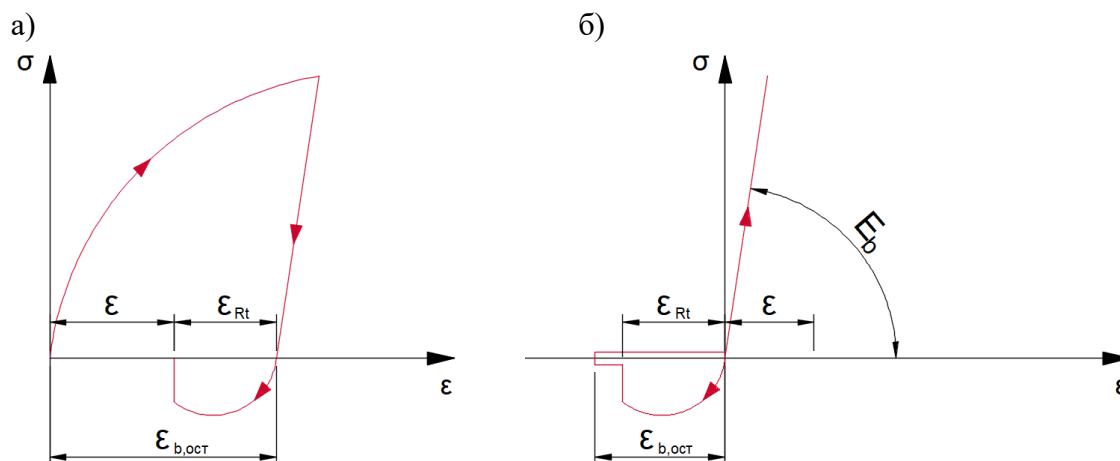


Рисунок 2 – Зависимость « σ - ε » при смене знака внутренних усилий:
а) в бетоне сжатой зоны, б) в бетоне растянутой зоны

Усилия в сжатом бетоне определяются путем интегрирования напряжений по высоте сжатой зоны:

$$N_b = b \cdot \int_0^{h_{b,\max}} \sigma_b(y) dy,$$

Зависимость напряжений от деформаций имеет вид:

$$\sigma_b(y) = E_b \cdot \left(\varepsilon_b(y) - 0,5 \cdot \frac{(\varepsilon_b(y))^2}{\varepsilon_R} \right),$$

где ε_R – предельная деформация бетона, E_b – начальный модуль упругости бетона.

Для растянутого бетона используется аналогичная зависимость с заменой предельной деформации сжатия ε_R на предельную деформацию растяжения ε_{Rt} .

Тогда с учетом гипотезы билинейных сечений усилия в бетоне и арматуре будут иметь вид:

$$\begin{cases} N_b = b \cdot E_b \cdot \frac{k_{pl,a} \cdot R_{sn}}{(h_0 - h_{b,\max}) \cdot E_s} \cdot A \cdot \left[\frac{h_{b,\max}^2}{2} - \frac{k_{pl,a} \cdot R_{sn}}{(h_0 - h_{b,\max}) \cdot E_s} \cdot A \cdot \left(\frac{h_{b,\max}^3}{6 \cdot \varepsilon_R} \right) \right] \\ N_{a1,\max} = A_{s1} \cdot \frac{k_{pl,a} \cdot R_{sn}}{(h_0 - h_{b,\max})} \cdot (h_{b,\max} - a) \cdot A \\ N_{a2,\max} = -A_{s2} \cdot k_{pl,a} \cdot R_{sn} \end{cases}$$

где A_{s1}, A_{s2} – площадь сжатой и растянутой арматуры, $k_{pl,a}$ – коэффициент пластичности по деформациям растянутой арматуры, h_0 – рабочая высота сечения, R_{sn} , E_s – предел текучести и модуль упругости арматуры соответственно, A – коэффициент гипотезы билинейных сечений [12].

При разгрузке сечение получает приращение кривизны $\delta\chi$ обратного знака, которое должно уменьшить до нуля усилия в бетоне сжатой зоны и арматуре, пренебрегая работой растянутого бетона. Как уже указано выше, разгрузка всех слоев бетона происходит по прямым, параллельным касательной в начальной точке диаграммы « σ - ε ». При этом в бетоне и арматуре имеют место некоторые остаточные деформации (рисунок 1, б).

Условие равновесия всех сил на продольную ось в приращениях:

$$\delta N_b + \delta N_{a1} + \delta N_{a2} = 0,$$

где изменения усилий в сжатой и растянутой арматуре и в бетоне сжатой зоны:

$$\begin{cases} \delta N_b = b \cdot E_b \cdot A \cdot \frac{R_{sn}}{E_s \cdot (h_0 - h^*)} \cdot \frac{(h^*)^2}{2} \\ \delta N_{a1} = A_{s1} \cdot \frac{R_{sn}}{(h_0 - h^*)} \cdot A \cdot (a - h^*) \\ \delta N_{a2} = -A_{s2} \cdot R_{sn} \end{cases}$$

Из этого условия можно выразить расстояние от сжатой грани до мгновенного положения нейтральной оси h^* , а через него изменение деформаций при разгрузке. Остаточные деформации определяются как сумма максимальных значений и отрицательного приращения деформаций к моменту полной разгрузки. Координата y , в которой остаточные деформации меняют знак, соответствует глубине остаточной трещины на момент разгрузки $h_{crc,ост}$.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние элемента в процессе нагружения обратного знака. Известно, что надежное смыкание трещины имеет место при определенной величине сжимающих напряжений по их берегам. Кроме того, скорость раскрытия трещины в растянутой зоне опережает скорость ее смыкания в сжатой зоне [5]. Поэтому в запас прочности величину остаточной трещины и рабочую высоту сечения будем определять на момент начала раскрытия трещины на противоположной грани балки. Дальнейшее деформирование сечения после начала раскрытия трещины в растянутой зоне приведет в возникновению сжимающих напряжений, достаточных для надежного смыкания берегов остаточной трещины.

Предполагаем, что приращение деформаций происходит относительно некоторого мгновенного положения нейтральной оси h^{**} (рисунок 1, в). В момент начала раскрытия трещины в растянутой зоне деформации растянутого бетона достигают предельного значения ε_{Rt} .

Предположим, что вершина несомкнутой трещины лежит в слоях, которые на предыдущем цикле испытывали только растяжение. В этом случае бетон сжатой зоны включится в работу, когда будут скомпенсированы остаточные растягивающие деформации.

Деформации сжатия в верхнем волокне:

$$\varepsilon_b(0) = \varepsilon_{b,ост}(0) - \varepsilon_{Rt}.$$

Отсюда приращение кривизны уже обратного знака, соответствующее началу раскрытия трещины на противоположной грани

$$\delta \chi_1 = \frac{\varepsilon_{Rt}}{h^{**} - h}.$$

Зная приращение кривизны, можно на основе принятой геометрической гипотезы выразить приращения деформаций по высоте сечения.

Поскольку в изгибаемых элементах без предварительного напряжения в момент начала образования трещины работа бетона сжатой зоны близка к упругой, то приращение усилия в бетоне сжатой зоны можно определить как:

$$\delta N_b = b \cdot \int_{h-h^{**}}^{h-h_{crc}} \delta \sigma_b(y) dy = b \cdot E_b \cdot \int_{h-h^{**}}^{h-h_{crc}} \delta \varepsilon_b(y) dy.$$

Приращение усилия в растянутой зоне бетона:

$$\delta N_{bt} = b \cdot \int_0^{h-h^{**}} \delta \sigma_b(y) dy = b \cdot E_b \cdot \int_0^{h-h^{**}} \left(\delta \varepsilon_b(y) + 0,5 \cdot \frac{\delta \varepsilon_b(y)^2}{\varepsilon_{Rt}} \right) dy.$$

Приращение усилий в сжатой арматуре:

$$\delta N_{a2} = A_{s2} \cdot E_s \cdot \delta \varepsilon_{a2} = A_{s2} \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{Rt}}{(h-h^{**})} \cdot A \cdot (h^{**} - a).$$

Приращение усилия в растянутой арматуре:

$$\delta N_{a1} = A_{s1} \cdot E_s \cdot \delta \varepsilon_{a1} = A_{s1} \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{Rt}}{(h-h^{**})} \cdot A \cdot (h^{**} - h_0).$$

Мгновенное положение нейтральной оси h^{**} можно найти из условия равенства нулю приращений всех продольных сил $\Sigma \delta N = 0$:

$$\delta N_b + \delta N_{bt} + \delta N_{a1} + \delta N_{a2} = 0.$$

Тогда глубина остаточной трещины в сжатой зоне h_{crc} в момент начала раскрытия трещины на противоположной грани:

$$h_{crc} = \frac{\left(\frac{k_{pl,a} - 1}{(h_{crc,ocm} - a)} \cdot \frac{R_{sn}}{E_s} \cdot h_{crc,ocm} - \frac{\varepsilon_{Rt}}{(h-h^{**})} \cdot A \cdot h^{**} \right)}{\left(\frac{k_{pl,a} - 1}{(h_{crc,ocm} - a)} \cdot \frac{R_{sn}}{E_s} - \frac{\varepsilon_{Rt}}{(h-h^{**})} \cdot A \right)}.$$

Зная глубину остаточной трещины в сжатой зоне бетона, можно определить остаточную рабочую высоту сечения на последующих циклах нагружения.

Численный метод расчета

Для оценки применимости упрощенного метода определения глубины остаточной трещины и для анализа ее влияния на несущую способность изгибаемого элемента на последующих циклах, были проведены расчеты в КЭ комплексе Abaqus.

При моделировании диаграмм материалов были использованы нормативные характеристики бетона и арматуры в соответствии с [11]. Бетон моделировался объемными конечными элементами. Для описания его работы использовалась модель с разрушением «concrete damaged plasticity». Данная модель учитывает образование и раскрытие трещин при растяжении, сжатии и срезе, а также теорию прочности бетона. Модель является континуальной, основанной на пластическом поведении и учитывающей образование и накопление повреждений.

Ввиду невозможности определения фактической ширины раскрытия трещины, для обеспечения континуальности сетки конечных элементов применяется метод распределения зоны трещины на группу конечных элементов («размазанное трещинообразование» – smeared cracking). Для получения наиболее подробной картины трещинообразования в модели при задании характеристик состояния бетона после достижения им предельных деформаций введена ниспадающая ветвь с условным физическим смыслом, обеспечивающая сходимость решений (рисунок 3) [7].

Для моделирования арматуры была использована полная среднестатистическая диаграмма растяжения стали A500 по [8]. Балки моделировались высокоточными конечными элементами C3D10M (tetra mesh). Нагружение моделировалось при помощи заданной контрольной точки (Tools – Reference point) монотонно возрастающей сосредоточенной силой (Concentrated force) на две грузораспределительные пластины 50×200 мм (Constraint – Coupling).

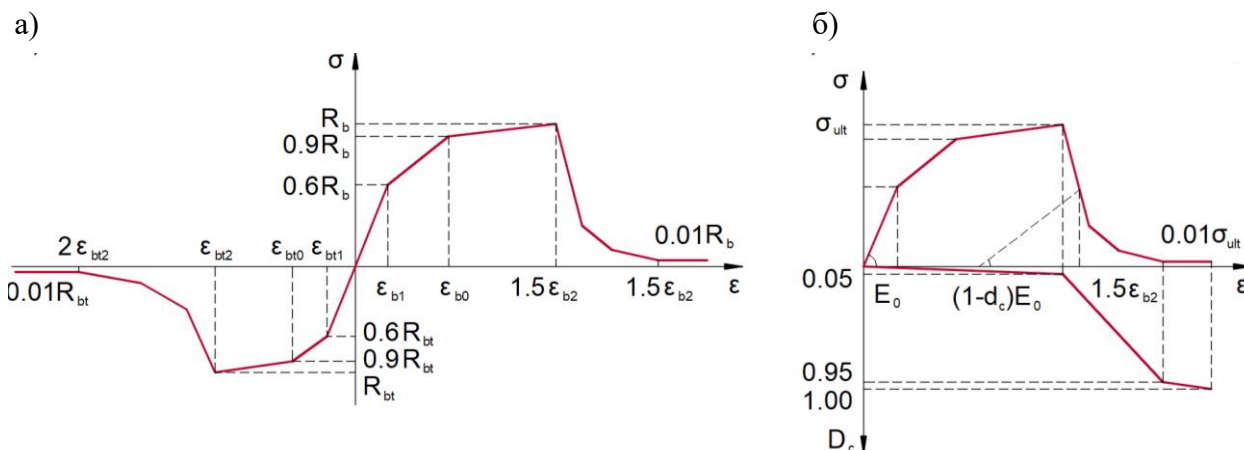


Рисунок 3 – Принятые в исследовании диаграммы состояния бетона:

а) общий вид расчетной диаграммы в Abaqus (для материала Concrete damage plasticity), масштаб выбран условным; б) к определению параметра повреждений на примере участок диаграммы состояния бетона в области сжатия

Для предотвращения проскальзывания арматуры в теле бетона, во всех расчетных моделях предусмотрена анкерная пластина, приваренная к концам стержней (рисунок 4 а-б). Сварка моделировалась с помощью соединений (Fasteners) с предельным напряжением, соответствующим разрыву сварного шва. Моделирование контакта всех элементов между собой осуществлялось с помощью алгоритма невязки (Penalty). Зоны контактов были заданы непосредственно между бетоном и металлическими пластинами. Параметры балок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры балок

Серия	Шифр образца	b / h_0 , мм	a , мм	L , мм	R_b , МПа	E_{b0} , $\text{МПа} \cdot 10^3$	R_{bt}	R_s	E_s , $\text{МПа} \cdot 10^3$	μ_s	μ'_s	$k_{pl.1}$	A
I	Б0-I-01	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	0.6	1.5	1
	Б0-I-02	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	0.6	2.5	1
	Б0-I-03	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	0.6	3.5	1
II	Б0-II-01	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	1.2	1.5	1
	Б0-II-03	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	1.2	2.5	1
	Б0-II-04	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	0.6	1.2	3.5	1
III	Б0-III-01	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	1.2	0.6	1.5	1
	Б0-III-02	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	1.2	0.6	2.5	1
	Б0-III-03	200 / 170	3	1500	14,5	30	1,05	435	200	1.2	0.6	3.5	1

Примечание:
 A – коэффициент гипотезы билинейных сечений в аналитическом методе, принимался $A = 1$;
 μ_s – процент арматуры, растянутой в первом цикле нагружения;
 μ'_s – процент арматуры, сжатой в первом цикле нагружения;
 $k_{pl.1}$ – коэффициент пластичности по деформациям арматуры на первом полуцикле нагружения.

В качестве одного из критериев разрушения принят резкий скачок прогибов балки в середине пролета. Известно, что разрушение бетона, как неоднородного материала, носит нехрупкий характер – перемещения нарастают с ускорением по криволинейной зависимости, поэтому в качестве второго явного критерия разрушения принята зависимость нагрузки от параметра повреждения сжатой зоны бетона (DamageC). Для всех трех серий был смоделирован эталонный образец, рассчитанный с целью получения данных о разрушающей

нагрузке и соответствующим ей пластическим деформациям в арматуре. Он нагружался монотонно возрастающей нагрузкой вплоть до разрушения.

Во всех балках усилия образования первой нормальной и наклонной трещины определены по изополям повреждений при растяжении и главных растягивающих деформаций.

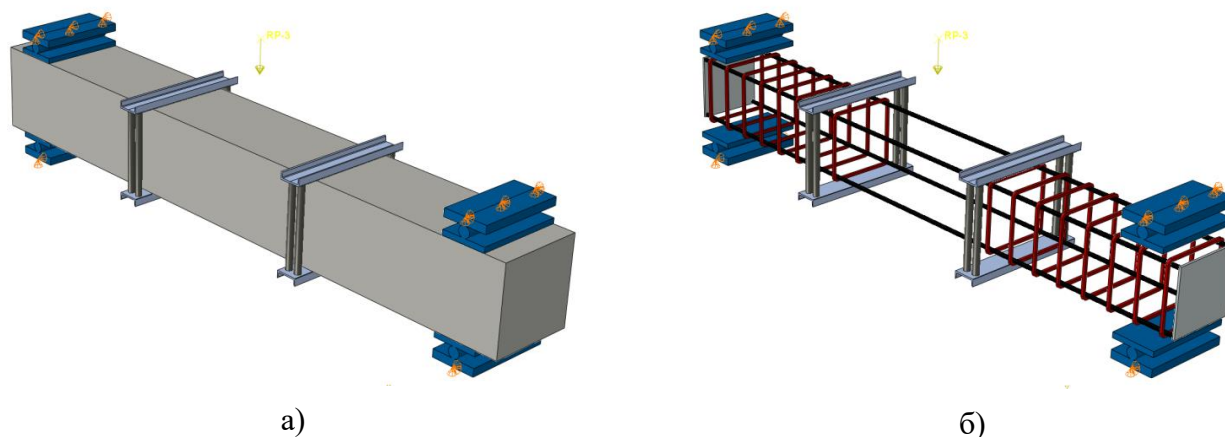


Рисунок 4 – Расчетная модель в ПК Abaqus: а) схема приложения нагрузки на образец; б) схема армирования образца

По результатам расчета наблюдалось ожидаемое развитие повреждений. Нормальные трещины образовались при уровнях нагрузки 0,2...0,3 от разрушающей. Далее образовались трещины в зоне совместного действия изгибающего момента и поперечных сил. Наклонные трещины образовывались при уровне нагрузки 0,35...0,7 от разрушающей.

В момент разрушения фиксировалось образование и раскрытие нормальной трещины, и раздробление бетона сжатой зоны непосредственно над ней. В момент перед разрушением отслеживались наибольшие деформации в крайнем волокне бетона сжатой зоны. В момент разрушения отдельные участки арматурных стержней переходили полностью в пластическое состояние (напряжения по Мизесу превышают предел прочности стали). На каждом этапе нагружения фиксировались нормальные напряжения в арматуре у опор и в середине пролета.

С целью получения глубины остаточных трещин в сжатой зоне бетона и влияния их на несущую способность на последующих циклах нагружения, были смоделированы образцы, рассчитанные на знакопеременную нагрузку в два полуцикла. Предполагалось, что смыкание трещины происходит, когда в растянутом слое бетона возникают сжимающие напряжения. Коэффициент асимметрии цикла $\rho = -1$. Глубина остаточной трещины определялась в момент начала текучести растянутой арматуры при нагружении обратного знака.

Модели балок были разделены на 3 серии: 1 серия – балки с симметричным расположением арматуры « $\mu_s = 0.6$ » – « $\mu'_s = 0.6$ » (на графиках эти образцы обозначены как « $\mu_s - \mu'_s$ »), 2 серия – балки с несимметричным расположением арматуры, где « $\mu_s = 0.6$ » – « $2 \cdot \mu'_s = 1.2$ » (на графиках обозначены как « $\mu_s - 2\mu'_s$ »), 3 серия – балки с несимметричным расположением арматуры, где « $2 \cdot \mu_s = 1.2$ » – « $\mu'_s = 0.6$ » (на графиках обозначены как « $2\mu_s - \mu'_s$ »).

Сначала, как и в случае с эталонной балкой, они нагружались монотонно возрастающей нагрузкой, но до конкретного значения k_{pl} в первом полуцикле, после чего проводилась разгрузка, а затем балки нагружались нагрузкой обратного знака до полного разрушения. По результатам расчета строилась зависимость глубины остаточной трещины на

момент начала текучести в арматуре при нагружении обратного знака от максимального коэффициента пластичности в первом полуцикле.

Результаты исследования и их анализ

На рисунке 5 представлена зависимость глубины остаточной трещины во втором полуцикле нагружения в зависимости от коэффициента пластичности в первом полуцикле.

Как показали результаты расчетов, при величинах коэффициента пластичности меньше 2 имеет место интенсивное увеличение глубины остаточных трещин, а при больших значениях этот процесс существенно замедляется.

Если площадь арматуры, которая оказывается растянутой в первом цикле нагружения, больше или равна площади сжатой арматуры, приближенный метод расчета дает более низкие значения глубины остаточной трещины по сравнению конечно-элементными расчетами. Если площадь арматуры, сжатой в первом цикле нагружения, превышает площадь растянутой арматуры, приближенный метод дает большие значения по сравнению с конечно-элементным методом. Во всех случаях разница в величинах не превышала 17,5 %.

На рисунке 6 представлена зависимость отношения величины разрушающей нагрузки во втором полуцикле нагружения к разрушающей нагрузке эталонного образца от коэффициента пластичности по деформациям арматуры в первом полуцикле нагружения.

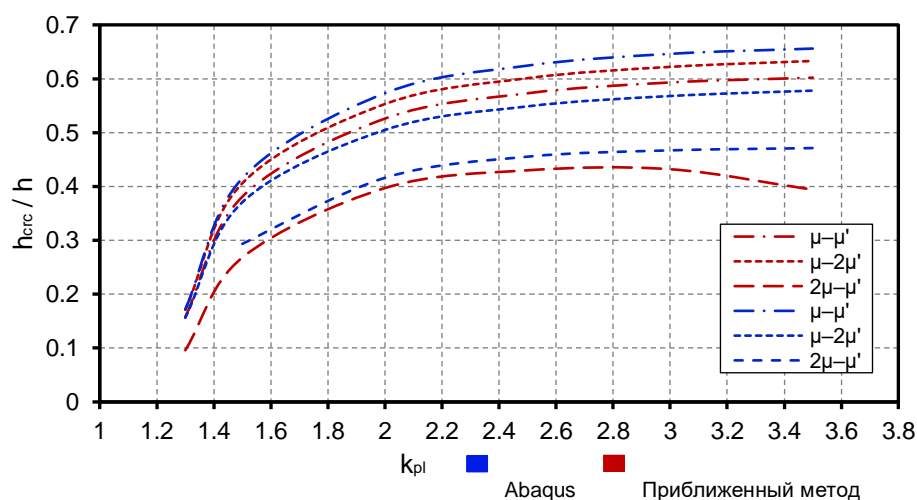


Рисунок 5 – Зависимость глубины остаточной трещины от коэффициента пластичности

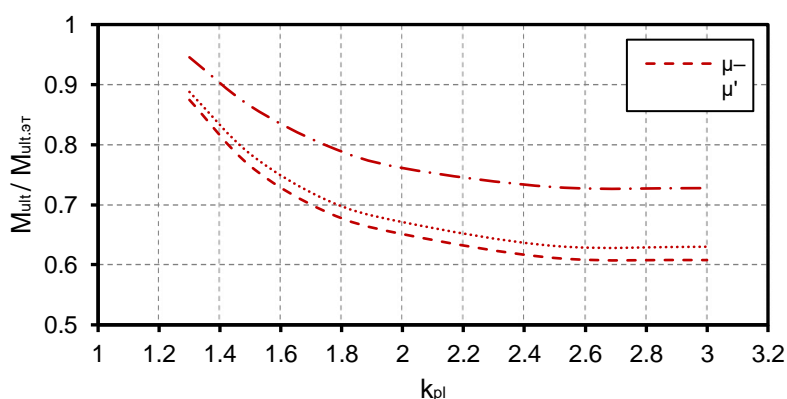


Рисунок 6 – Зависимость относительной несущей способности во втором полуцикле нагружения от коэффициента пластичности в первом полуцикле

Как видно из графиков, пластические деформации в растянутой арматуре приводят к существенному снижению несущей способности балок на последующих полуциклах

нагружения. Наиболее интенсивное снижение несущей способности имеет место при значениях коэффициента пластичности в первом полупереме меньше 2.

Выводы

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Вследствие развития пластических деформаций в растянутой арматуре при знакопеременных воздействиях большой интенсивности во время нагружения обратного знака имеют место несомкнутые трещины в сжатой зоне бетона. Их наличие приводит к уменьшению рабочей высоты сечения и к существенному (до 40%) снижению несущей способности изгибаемых элементов на последующих циклах нагружения.
2. Предложен приближенный метод определения глубины несомкнутых трещин в сжатой зоне бетона, остающихся при смене знака усилий вследствие пластических деформаций арматуры. При различном соотношении верхнего и нижнего армирования и при различных величинах коэффициента пластичности этот метод дает удовлетворительную сходимость с более точными методами расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаканов М.С. Малоцикловая прочность железобетонных конструкций каркасных зданий при действии нагрузок типа сейсмических. Алмаата. АО «КазНИИСА». 2016. 132 с.
2. Абаканов М.С. Прочность железобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях типа сейсмических // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 5. С. 30-34.
3. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads // Proceedings of the III All Russian (II International) Conference on concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete – glance at future». Moscow. 2014. Volume II.
4. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с Изменением N 1)». Москва, 2018.
5. Курнавина С.О., Грачев А.Н. Критерий образования сквозных трещин при циклическом изгибе железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2018. № 5 (79). С. 24-31.
6. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads// Modelling and Methods of Structural Analysis, Journal of Physics: Conference Series 1425 (2020) 012037 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012037.
7. Силантьев А.С. Соппротивление изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с учетом влияния продольного армирования. Дисс. канд.техн.н. М., 2012.
8. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000. 256 с.
9. Курнавина С.О., Цацулин И.В. Влияние пластических деформаций на работу изгибаемых элементов при сейсмических воздействиях // Технология текстильной промышленности. 2019. № 5(383). С. 228-233.
10. Semina Yu.A. The strength of reinforced concrete beam elements under cyclic alternating loading and low-cycle load of constant permanent sign// Vestnik MGSU. 2015. Vol 9. Pp. 36-50. ISSN 1997-0935.
11. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1).
12. Жарницкий В.И., Курнавина С.О. Энергетический метод определения поля направлений трещин в железобетонных балках // Технология текстильной промышленности. 2018. № 5. С. 213-216.

REFERENCES

1. Abakanov M.S. Malotsiklovaya prochnost gelezobetonnykh constuktsiy karkasnikh zdaniy pri deystviy nagruzok tipa seismicheskikh [Low-cycle strength of reinforced concrete constructions of frame buildings under loads the type of seismic]. Alma ATA. AO «KazNIISA». 2016. 132 p.
2. Abakanov M.S Prochnost gelezobetonnykh constuktsiy pri malotsiklovykh nagrudeniyakh tipa seismicheskikh [Strength of reinforced concrete constructions under loads the type of seismic] // Earthquake engineering. Safety of facilities, 2013. No. 5. Pp. 30-34.
3. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads // proceedings of the III All Russian (II International) Conference on concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete – glance at future». Moscow. 2014. Volume II.
4. SP 14.13330.2018 «Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh, aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81*» [Seismic Building Design Code]. Moscow, 2018.

5. Kurnavina S.O., Grachev A.N. Criterion of through crack formation in reinforced concrete structures under cyclic bending // Building and reconstruction. 2018. № 5 (79) Pp 24-31.
6. S.O.Kurnavina, I.V.Tsatsulin The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads// Modelling and Methods of Structural Analysis, Journal of Physics: Conference Series 1425 (2020) 012037 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012037.
7. Silantyev A.S. Soprotivleniye izgibaemykh gelezobetonnykh elementov po naklonnim sachaniyam s uchetom vliyaniya prodolnogo armirovaniya. Candidate thesis: 05.23.10. Moscow, 2012
8. Madatyan S.A. Armatura gelezobetonnykh constuktsiy. Moscow: Voyentechlit, 2000. 256 p.
9. S.O.Kurnavina, I.V.Tsatsulin The influence of plastic strains on the behavior of bending elements under seismic loads // The technology of textile industry journal (Ivanovo). 2019. Vol. 5(383). Pp. 228-233.
10. Semina Yu.A. The strength of reinforced concrete beam elements under cyclic alternating loading and low-cycle load of constant permanent sign // Vestik MGSU. 2015. Vol. 9. Pp. 36-50. ISSN 1997-0935.
11. SP 63.13330.2018 Betonniye i gelezobetonnyy konstruktsyi. Osnovniye polozheniya.
12. Garnitsky V.I., Kurnavina S.O. Energy method for determining the direction of cracks in reinforced concrete beams // The technology of textile industry journal (Ivanovo). 2018. Vol. 5. Pp. 213-216.

Информация об авторах:

Курнавина Софья Олеговна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Цацулин Илья Владимирович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

Information about authors:

Kurnavina Sofya Ol.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of reinforced concrete and masonry structures.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Tsatsulin Ilya V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

postgraduate student of the department of reinforced concrete and masonry structures.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

К ВОПРОСУ О ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В данной работе рассматривается сопротивление перемычек многоэтажных зданий на сдвиг, поскольку основное статическое назначение вертикальных стыковых соединений в виде перемычек – обеспечить восприятие сдвигающих сил, возникающих при совместной работе сопрягаемых стен. Объектом исследования являлся фрагмент монолитного здания, толщина стен которого составляла 300 мм, а высота здания составляла 12 этажей. В результате проведенных численных исследований определено напряженно-деформированное состояние вертикальных несущих конструкций монолитных зданий и деформации сдвига по всем перемычкам по высоте здания. Установлено, что часть перемычек находятся в упругой стадии работы в связи с небольшим уровнем перерезывающих усилий. Ряд перемычек здания, соединяющих вертикальные конструкции со значительным перепадом вертикальной нагрузки, находятся в пластической стадии работы. Результаты перераспределения напряжений, приведенные в данной статье, могут быть использованы при расчете несущих систем монолитных зданий с учетом нелинейной податливости связей сдвига.

Ключевые слова: связи сдвига, перемычки, перераспределение, напряжение.

V.A. LYUBLINSKIY¹¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

TO THE QUESTION OF REDISTRIBUTION OF STRESS IN VERTICAL BEARING RC STRUCTURES MULTI-STORY BUILDINGS

Abstract. In this paper, resistance the shear lintels in multi-story buildings is considered, since the main static purpose of vertical butt joints in the form of lintels is to ensure the perception of shear forces arising from the joint operation of the mating walls. The object of the study was a fragment of a monolithic building, the thickness of the walls of which was 300 mm, and the height of the building was 12 floors. As a result of the conducted numerical studies, the stress-strain state of the vertical load-bearing structures of monolithic buildings and the shear deformations along all the lintels along the height of the building were determined. It was found that some of the lintels are in the elastic stage of operation due to a low level of shearing forces. A number of building lintels connecting vertical structures with a significant vertical load drop are in the plastic stage of work. The results of stress redistribution, given in this article, can be used when calculating the bearing systems of monolithic buildings, taking into account the nonlinear compliance of shear bonds.

Keywords: shear bonds, lintels, redistribution, stress.

Введение

Несущие системы многоэтажных зданий представляют собой многократно статически неопределимые системы. Все основные вертикальные и горизонтальные железобетонные конструкции находятся во взаимодействии. В здании присутствует целая и разнообразная система горизонтальных и вертикальных связей, объединяющих вертикальные конструкции – стены, пилоны, колонны в единую пространственную систему. При определении напряженно-деформированного состояния несущих конструкций обычно исходят из

линейной постановки. В настоящее время практически все большие программные комплексы предлагают на выбор диаграммы деформирования бетона и арматуры, способы решения нелинейных задач, оговаривают системы связей – линейных, многолинейных упругих, многолинейных пластичных. Вместе с тем возникают вопросы по оценке нелинейной работы железобетонных конструкций. В статически неопределимых конструкциях происходит перераспределение усилий [1-3], кроме геометрии, исходных жесткостей, свойств материалов существенную роль играют принятые законы деформирования конструкционных материалов и связей, соединяющих несущие конструкции [4-6]. Известны работы по применению диаграмм деформирования бетона [7-9] и способы решения задач по нелинейному расчету железобетонных конструкций [10]. Исследования работы связей, работающих на сдвигающие усилия, свидетельствует об их существенном влиянии на распределение и перераспределение усилий (напряжений) в несущих конструкциях здания [11-15]. Вместе с тем, следует отметить, что большинство диаграмм бетона, арматуры, сопротивление связей сдвигу рассматриваются с позиций одноосного напряженного состояния и для связи - загрузением одной конструкции. Нелинейное деформирование связей сдвига определяется местом связи сдвига по высоте конструкции и степенью статической неопределимости конструкций. Перемычка в девятиэтажном здании и в 30-этажном здании работает в разных условиях стеснённой деформации. Возможность перераспределения усилий в этих конструкциях разная. В предлагаемой работе в первом приближении рассматривается экспериментальная кривая деформирования перемишки и влияние сопротивления сдвигу такой связи на многоэтажное здание.

Методика численного моделирования

Рассмотрено монолитное многоэтажное здание, расчетная схема показана на рисунке 1. Здание состоит из 12 этажей и подвального и чердачного помещений. Применялся бетон В25, стены толщиной 30 см соединялись перемишками с размерами поперечного сечения 20 * 40 см и длиной 2 м.

На здание действовали постоянные, временные вертикальные и ветровые нагрузки.

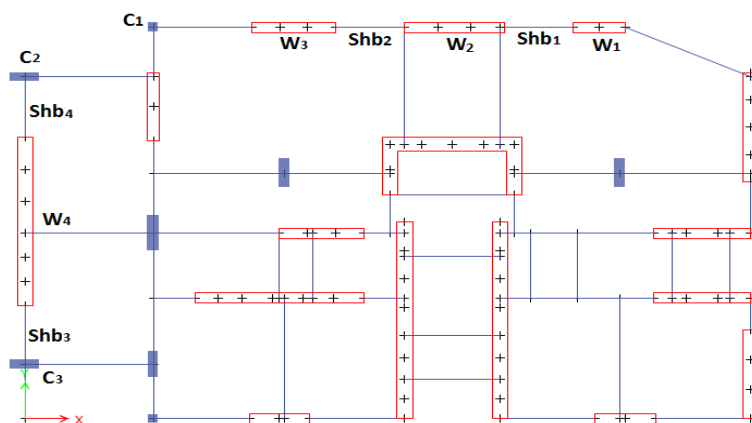


Рисунок 1 - Расчетная схема здания

Расчет производится с помощью программного комплекса ETABS (интегрированный пакет на основе метода конечных элементов). Для стен принят конечный элемент в виде элемента оболочки, который используются для моделирования стен. Основание здание принималось недеформируемым.

Рассмотрим фрагмент несущей системы - стены W1, W2 и W3, нумерации которых указана на рисунке 1. На рисунке 2 приведены напряжения, образовавшиеся в элементах в результате линейного расчета здания при постоянстве жесткостей элементов несущей системы.

Для определения значения модуля сдвига была использована экспериментальная диаграмма деформирования «Q-Δ». Использовался секущий модуль для определения податливости K для связей типа переемычек [4,16]. Нагружение производилось шаговым методом от начальной податливости до момента возникновения пластического шарнира в одной из связей.

Изменение податливости по шагам происходило в следующей последовательности: $K_1 = 0,2 \text{ E-6 м/кН}$; $K_2 = 0,4 \text{ E-6 м/кН}$; $K_3 = 0,67 \text{ E-6 м/кН}$; $K_4 = 0,88 \text{ E-6 м/кН}$; $K_5 = 0,13 \text{ E-6 м/кН}$ (см. рисунок 3). Изменение напряжённо-деформированного состояния при дальнейшем увеличении податливости в одной из стен не фиксировалось и расчет был остановлен. Оценка работы переемычек с точки зрения второй группы предельных состояний в данной постановке не рассматривалась.

Результаты исследования и их анализ

Было рассмотрено поведение конструкций здания с учетом нелинейного изменения податливости поперечных связей при последовательном нагружении (см. рисунок 4). При нагружении фиксировались сдвигающие усилия и соответствующие деформации. При сравнении напряженного состояния стен между начальным и конечным этапом нагружения отчетливо видна разгрузка стены W1 и дополнительное нагружение стены W2. Произошло перераспределение напряжений с наиболее нагруженной конструкции на менее. Сами переемычки, соединяющие эти две вертикальные конструкции находились в наиболее напряженном состоянии с явным переходом в пластичную зону деформирования.

Определены усилия сдвига и деформации сдвиговых связей на каждом уровне этажей по высоте здания. Рисунки 5 и 6 показывают, соответственно, деформирование и усилия сдвига связей, обозначенных на схеме Shb1, Shb2.

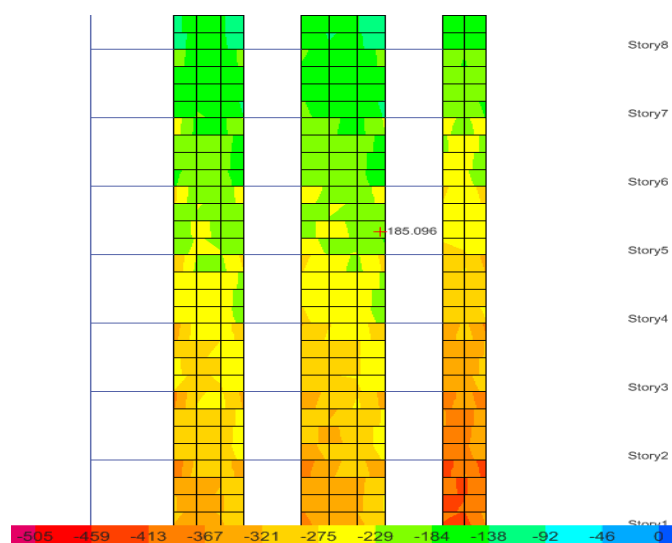


Рисунок 2 - Вертикальные напряжения в стенах W1, W2, W3 в результате линейного расчета

Связи сдвига вертикального ряда Shb1 имеют уже на начальном этапе нагружения сдвигающие усилия одинаковые с 5 по 12 этаж. Такое распределение усилий характерно при действии значительной удельно неравной на конструкции стен W1 и W2 вертикальной нагрузки [2,4]. При увеличении нагрузки происходит увеличение и выравнивание эпюр сдвигающих усилий по высоте здания. В результате учета нелинейности напряжения сдвига увеличились в сдвиговой связи (Shb1) и уменьшились в сдвиговой связи (Shb2). Вместе с тем, следует отметить некорректность рассмотрения отдельного фрагмента здания без учета поведения всей несущей системы. В связи с увеличением податливости всех связей несущей системы здания уменьшается влияние сдвигающих усилий, увеличиваются изгибающие моменты в вертикальных конструкциях и увеличивается прогиб многоэтажного здания.

Рассмотрим процесс перераспределения напряжений в смежных стенах W1 и W2.

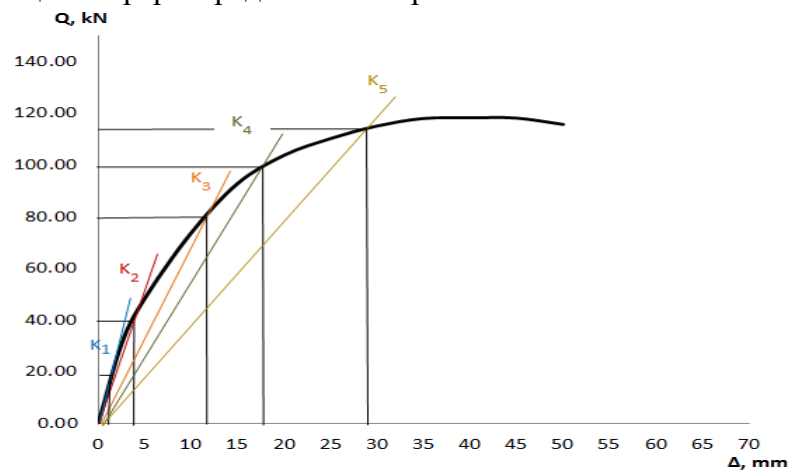


Рисунок 3 - Экспериментальная диаграмма деформирования связи сдвига и условная схема определения их податливости

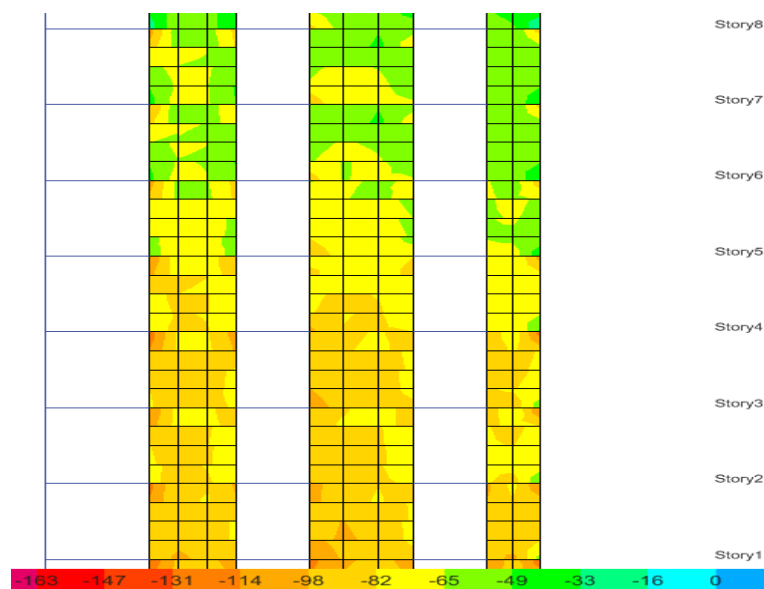


Рисунок 4 - Вертикальные напряжения в стенах W1, W2, W3 в результате нелинейного деформирования связей сдвига

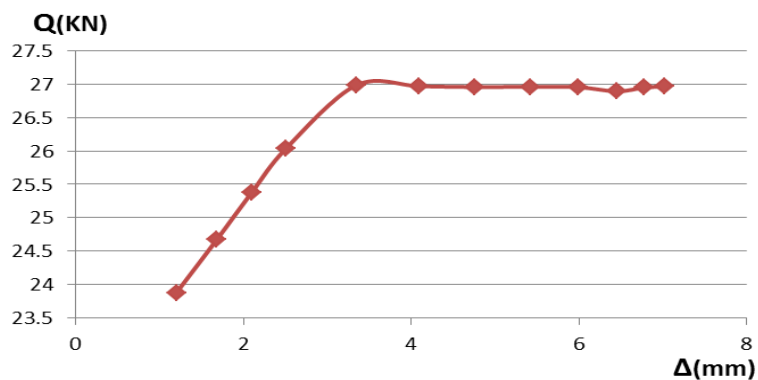


Рисунок 5 - Диаграмма деформации и усилие сдвига связи Shb1

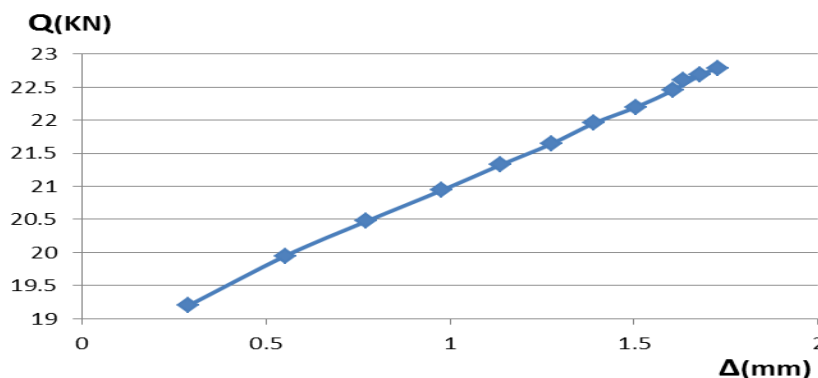


Рисунок 6 - Диаграмма деформации и усилие сдвига связи Shb2

Для податливости связи сдвига K1 для Shb1, связь сдвига действовала в пределах упругой работы и жесткость связи сдвига была максимальной. Напряжения в стене W1 были большими, а разница между двумя смежными стенами в одной плоскости была значительной. Величины нормальных напряжений в рассматриваемых стенах в уровне заделки даны в таблице 1.

Таблица 1 – Нормальные напряжения в стенах W1, W2, W3 при изменении податливости связей сдвига

Номер нагружения	Податливость связей сдвига	W1	W2	W3
1	K1	2212.42	1506.81	1693.56
2	K2	1799.51	1644.50	1806.82
3	K3	1699.62	1712.05	1861.24
4	K4	1619.29	1762.69	1896.06
5	K5	1569.57	1797.17	1919.27

Для второго шага нагружения определена податливость связи сдвига K2 (Shb1). Жесткость связей сдвига уменьшилась, поскольку вторая точка поднялась выше по диаграмме нелинейного деформирования связи. Несколько уменьшилась совместная работа между вертикальными элементами, что привело к уменьшению напряжения в стенке W1 на 18,66%. Новое распределение напряжений дано в таблице 1.

На третьем шаге податливость связи сдвига K3 для (Shb1) увеличилась. В результате перераспределения уменьшились напряжения в стенке W1 на 5,55%, но на меньший процент по сравнению со вторым шагом.

На четвертом шаге податливость связи сдвига K4 для (Shb1), также жесткость связи сдвига действует в нелинейной части, тем самым уменьшив напряжения в стенке W1 на 4,72%, но на небольшую величину по сравнению со вторым результатом. На последнем шаге податливость связи сдвига K5 для Shb1 самая большая, также здесь связи работает в нелинейной зоне, тем самым уменьшив напряжения в стенке W1 на 3,07%, но на небольшую величину по сравнению с предыдущим шагом.

Распределение по высоте здания сжимающих напряжений в стенке W1 от работы связей сдвига несущей системы дано на рисунке 7.

Итоговое напряженно-деформированное состояние рассматриваемого фрагмента показывает существенное перераспределение напряжений с наиболее нагруженной конструкции на менее нагруженные.

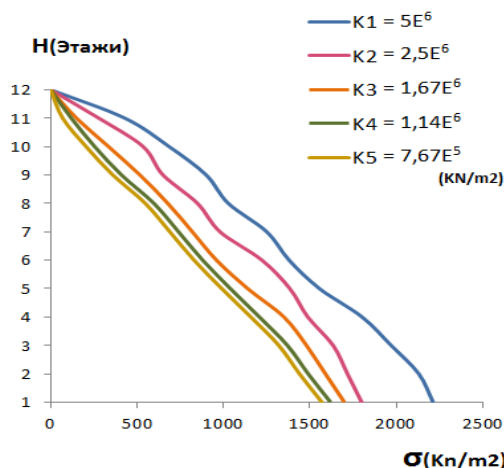


Рисунок 7 - Схема изменения вертикальных напряжений в стене (W1) в зависимости от изменения жесткости сдвиговых связей (K)

Выводы

В многоэтажных зданиях нелинейное деформирование сдвиговых связей существенно влияет на распределение и перераспределение напряжений между несущими вертикальными элементами в здании. Часть перемычек работала в упругой стадии, часть перемычек перешла в пластическую стадию работы. Максимальная величина перераспределения нормальных напряжений в вертикальных конструкциях рассмотренного фрагмента здания доходила до 25,4%. Увеличились изгибающие моменты в несущих вертикальных конструкциях и горизонтальное перемещение несущей системы.

Следует отметить ограниченную экспериментальную базу по нелинейному деформированию перемычек, как связей сдвига. Это связано и со сложностью экспериментальных работ и с необходимостью учитывать не только поперечное сечение перемычки и ее длину. Влияние оказывают геометрические поперечные размеры вертикальных конструкций, которые соединяет ряд перемычек. Степень допустимого уровня перераспределения усилий и напряжений в многократно статически неопределимой конструкции нуждается в уточнении.

В зданиях с большим количеством этажей вертикальные деформации увеличиваются, и увеличиваются деформации сдвига в связях. Часть связей типа перемычек будут работать в пластической зоне, поэтому нелинейное поведение этих элементов будет иметь значение для определения деформаций и напряжений в несущих конструкциях многоэтажных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых конструкциях. М., 1964. 169 с.
2. Drozdov P.F. Nonlinear analysis of multistory buildings. //International Journal of structures. 1984. V. 4. Pp. 201-203.
3. Тамразян А.Г., Рашидов Б.Т. К уровню перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках // Строительство и реконструкция. 2018. № 6 (80). С. 14-21.
4. Люблинский В.А., Томина М.В. Влияние нелинейного деформирования перемычек на процесс распределения усилий в несущих элементах диафрагмы // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2 (38). С. 153-158.
5. Соколов Б.С., Миронова Ю.В. Прочность и податливость вертикальных стыков стеновых панелей с использованием гибких петель // Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 60-62.
6. Артюшин Д.В., Шумихина В.А. Экспериментально-аналитические исследования шпоночных вертикальных стыков стен многоэтажных зданий // Моделирование и механика конструкций. 2015. № 2. С. 14-23.
7. Zeynep T.D., Cagri B. Empirical expressions for deformation capacity of reinforced concrete structural walls // ACI Structural Journal. 2019. V. 106 (4). Pp. 53-61.
8. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. Проектирование бетонных, железобетонных, каменных и армокаменных элементов и конструкций с применением диаграммных методов расчёта. М., 2019. 194 с.
9. Murashkin V, Murashkin G. Application of concrete deformation model for calculation of bearing capacity of reinforced concrete structures // MATEC of Web Conf. 2018. V. 196. 04008.

10. Радайкин О.В. Теоретические основы диаграммного метода расчета стержневых элементов из армированного бетона // Строительство и реконструкция. 2020. № 6 (92). С. 26-42.
11. Orakcal K, Massone L.M., Wallace J.W. Shear strength of lightly reinforced wall piers and spandrels// ACI Structural Journal. 2009. V. 106 (4). Pp. 455-465.
12. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий // Жилищное строительство. 2005. № 1. С. 7.
13. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.
14. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.
15. Barbagallo F., Bosco V., Ghersi A., Marino E.M. An over-damped multimodal adaptive nonlinear static analysis for seismic assessment of infilled RC buildings // Engineering Structures. 2021. V.229. 111622.
16. Хола Муса Нелинейные деформации и предельная несущая способность вертикальных диафрагм монолитных многоэтажных зданий. М. (Московский государственный строительный университет, кандидатская диссертация), 1985. 163 с.

REFERENCES

1. Krylov S.M. Redistribution of efforts in statically indefinable constructions. M., 1964. 169 p.
2. Drozdov P.F. Nonlinear analysis of multistory buildings. //International Journal of structures.1984. V. 4. Pp.201-203.
3. Tamrazyan A.G., Rashidov B.T. To the level of redistribution of moments in statically unascertainable reinforced concrete beams // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. Vol. 80. No. 6. Pp. 14-20.
4. Lyublinsky V.A., Tomina M.V. Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint // System Technology Methods. 2018. Vol. 3. Pp 154–158.
5. Sokolov B.S., Mironova Y.V. Strength and compliance of vertical joints of wall panels using flexible loops // Housing construction. 2014. No. 5. P. 60-62.
6. Artiushin D.V. Experimental and analytical studies of keyed vertical joints of walls of multi-story buildings // Modeling and mechanics of constructions. 2015. No. 2. P. 14-23.
7. Zeynep T.D., Cagri B. Empirical expressions for deformation capacity of reinforced concrete structural walls // ACI Structural Journal. 2019. V. 106 (4). Pp. 53-61.
8. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. Design of concrete, reinforced concrete, stone and reinforced stone elements and structures using diagram calculation methods. M., 2019. 194 p.
9. Murashkin V, Murashkin G. Application of concrete deformation model for calculation of bearing capacity of reinforced concrete structures // MATEC of Web Conf. 2018. V. 196. 04008.
10. Radaykin O.V. Theoretical foundations of the diagram method for calculating rod elements made of reinforced concrete. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2020. No. 6 (92). Pp. 26-42.
11. Orakcal K, Massone L.M., Wallace J.W. Shear strength of lightly reinforced wall piers and spandrels// ACI Structural Journal. 2009. V. 106 (4). Pp. 455-465.
12. Tamrazyan A.G. Fire resistance of load-bearing reinforced concrete structures of high-rise buildings. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2005. No. 1.P. 7.
13. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K. To the calculation of flat reinforced concrete floors, taking into account the actual stiffness of the section. Scientific Review. 2015. No. 8. P. 87-92.
14. Tamrazyan A.G. To the assessment of the risk of emergency situations by the main signs of its manifestation on the structure. Beton i zhelezobeton. 2001. No. 5. P. 8-10.
15. Barbagallo F., Bosco V., Ghersi A., Marino E.M. An over-damped multimodal adaptive nonlinear static analysis for seismic assessment of infilled RC buildings // Engineering Structures. 2021. V.229. 111622.
16. Hola Musa Non-linear deformations and ultimate bearing capacity of vertical diaphragms of monolithic multi-story buildings. M. (Moscow State University of Civil Engineering, PhD dissertation), 1985. 163 p.

Информация об авторе:

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: lva_55@mail.ru

Information about author:

Lyublinskiy Valery A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, professor, professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: lva-55@mail.ru

П.А. ЛЯШЕНКО¹, В.В. ДЕНИСЕНКО², М.Б. МАРИНИЧЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ГРУППЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЕННОЙ СХЕМЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Аннотация. Предложен расчёт сопротивления свай в фундаменте по расширенной схеме, включающей в работу основания окружающий грунт, неразрывно связанный со сваей через боковую поверхность. Реализация расширенной схемы возможна с применением метода испытания модельной сваи постоянно возрастающей нагрузкой с непрерывным измерением осадки (метода ПВН), дополненного измерениями вертикальной деформаций грунта относительно поверхности сваи и перемещений глубинных марок вблизи сваи. Увеличение объёма информации о состоянии грунтов позволяет получать значения дополнительных сил, упруго передаваемых соседним сваям, в зависимости от размеров областей пластических деформаций грунта. Оценка взаимного влияния свай в ходе увеличения нагрузки на фундамент даёт возможность выбрать оптимальный вариант его параметров, включающих размеры свай, их расстановку в фундаменте, изменение со временем сопротивления и осадки.

Ключевые слова: буронабивные висячие сваи, взаимодействие свай, сопротивление, осадка, постоянно возрастающая нагрузка, пластическая деформация.

P.A. LYASHENKO¹, V.V. DENISENKO², M.B. MARINICHEV¹¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

DESCRIPTION OF THE BORED PILES WORK IN A GROUP WITH USING AN EXTENDED RESISTANCE CIRCUIT OF SOIL BASE

Abstract. The calculation of the resistance of piles in the foundation is proposed according to an extended scheme, which includes the surrounding soil, which is inextricably connected with the pile through the side surface. The implementation of the extended scheme is possible with the application of the method of testing a model pile with a constantly increasing load with continuous measurement of precipitation (CRL method), supplemented by measurements of soil deformations relative to the pile surface and displacements of deep marks near the pile. Increasing the amount of information about the state of the soil allows us to obtain the values of additional forces elastically transmitted to neighboring piles, depending on the size of the areas of plastic deformation of the soil. The assessment of the mutual influence of piles during the increase in load on the foundation makes it possible to choose the best option of its parameters, including the size of piles, their placement in the foundation, changes in resistance and settlement over time.

Keywords: bored hanging piles, pile interaction, resistance, settlement, constantly increasing load, plastic deformation.

Введение

Вопрос распределения нагрузки на фундамент между сваями рассматривается с разных сторон достаточно давно: на материалах наблюдений [1], полевых [2] и лабораторных [3] исследований, путём построения теоретических моделей [4] и физического моделирования [5], обобщения результатов исследований [6] и выработки рекомендаций для

проектирования [7]. Устоявшиеся решения закреплены в нормах [8, 9]. На примере экспериментального жилого здания на забивных сваях показано, что в ходе строительства и после него «происходит заметное перераспределение нагрузок на сваи и в некоторой степени их выравнивание» [1], точнее, коэффициент вариации осадок уменьшается с 0,40–0,45 после возведения 1-го этажа до 0,33–0,11 – после заселения и 2-х месяцев эксплуатации, причём в среднем из трёх рядов свай эта величина уменьшилась с 0,24 до 0,13.

В опытах с 6-метровыми забивными сваями «марки, расположенные между сваями и в плоскости острия, начинали давать осадки при первых ступенях нагрузки и в дальнейшем оседали вместе с фундаментом» [2]. Очевидно, это свидетельство неразрывной связи грунта со сваями: грунт «зжат между сваями» [2], что даёт повод считать массив грунта со сваями единым жёстким телом [3].

На самом деле, есть различия в поведении одинаковых свай в одном фундаменте: сопротивление внешней нагрузке средних свай в группе меньше, чем крайних, а крайних – меньше, чем угловых [3], или центральных меньше, чем периметральных, – при центрально симметричной расстановке [5]. Различия в сопротивлении одинаковых свай в одном фундаменте, известные как «кустовый эффект», велики в начале нагружения и уменьшаются, в общем, (графики сближаются) со временем при полной нагрузке [1, 3]. Механизм этого явления не ясен. Не находит объяснение также скачкообразная форма графиков сопротивления свай (рисунок 1). Оценка отношений осадки и сопротивления единичной сваи и группы, предложенная в работе [3], имеет феноменологический характер и основана на косвенных данных, взятых из измерений параметров бурения скважины для сваи, поэтому механизм различий остаётся невыясненным.

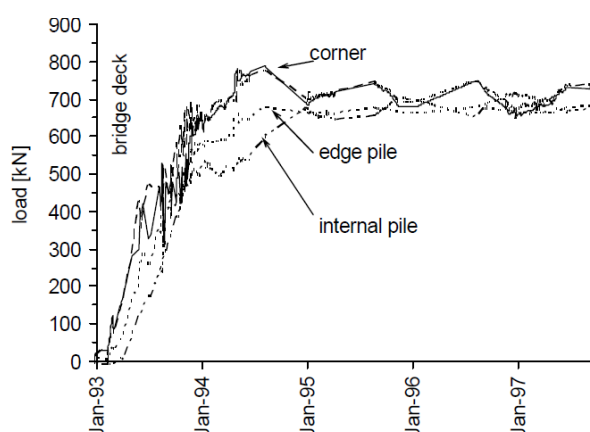


Рисунок 1 – Развитие сопротивлений свай в фундаменте, по мере его нагружения [3]

Различие сопротивлений учитывается при расчётах оснований введением геометрических параметров: длин свай, диаметров их сечений и расстояний между ними, площадей сечений и свайного фундамента, в целом [9]. Такой учёт основан на статистическом анализе большого числа свайных фундаментов, имеющих различные значения, как параметров, так и условий применения. Соответственно, это снижает надёжность рекомендаций для конкретного фундамента. Основой для её повышения справедливо считается изучение сопротивления одиночной сваи [3].

Математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ) влияния нагружаемой сваи на ненагруженную [10] даёт распределение напряжений в грунте вокруг сваи похожее, в общем, на измеренные в физических моделях [2], но отличное от расчётов по Своду правил [9]. При этом не ясно, согласуется ли модель МКЭ с данными измерений усилий в стволе сваи [11], по которым сжимающие усилия в длинных висячих сваях убывают с глубиной, отражает ли она скачкообразный характер изменения сопротивления свай при нагружении фундамента, как на рисунке 1, объясняет ли почему «жёсткость

единичной сваи в составе группы резко падает при уменьшении шага свай до $(2-3) \cdot d$ » [10]. Эти эффекты объективно реальны и должны служить критерием правильности моделей.

Отмеченные примеры не дают ответы на следующие вопросы:

- 1) о взаимодействии свай с грунтом вблизи ствола;
- 2) о размерах области пластических деформаций грунта;
- 3) о взаимном влиянии свай в группе при увеличении нагрузки на фундамент.

Целью настоящей статьи является формулирование расширенной схемы сопротивления основания висячей сваи, призванной ответить на эти вопросы.

Метод построения схемы сопротивления висячей сваи

Рассмотрим работу основания сваи в предельном по осадке состоянии. Испытание сваи статической постоянно возрастающей нагрузкой (ПВН) [6], показывает, что отдельные области грунтового основания достигают предельного по прочности состояния сразу же после начала нагружения сваи, о чём говорит циклическое изменение скорости осадки на протяжении всего испытания. Непрерывное измерение осадки в ходе испытания сваи позволяет точнее установить нагрузку, вызвавшую предельную осадку при допредельном по прочности состоянии основания, в целом [12].

Параллельное наблюдение за перемещениями глубинных марок вблизи ствола сваи и регистрация их синхронно осадке сваи позволяет оценить поперечные размеры основания и его пластические деформации при нагружении сваи. Измерения вертикальной деформаций грунта относительно боковой поверхности сваи и давления под нижним концом позволяют определить место и время областей перехода грунтов в предельное состояние [13, 14].

Выделив упругую и неупругую составляющие осадки, можно рассчитать приращения упругого и пластического сопротивлений грунтов основания, оценить взаимное влияние свай. Строго обоснованные условия подобия позволяют распространить результаты испытания модельной сваи на рабочие сваи в условиях эксплуатации фундамента [15].

По данным испытания модельной сваи методом ПВН строят расширенную схему основания висячей сваи [12, 14, 16] (рисунок 2), в которой определены места неупругих деформаций грунта и размеры областей пластических деформаций.

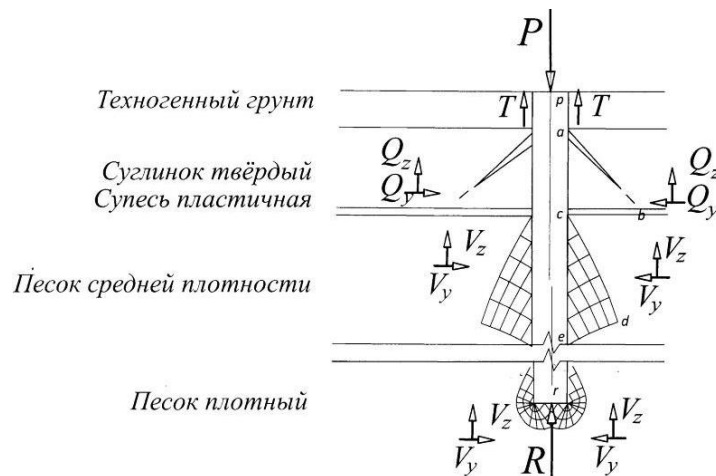


Рисунок 2 – Пример расширенной схемы сопротивления основания висячей сваи длиной 25 м

Согласно расширенной схеме, нагрузка на сваю воспринимается окружающим грунтом через боковую поверхность, большая часть которой неразрывно связана с ним. Разрывы происходят в отдельных местах и выражаются в виде трещин сдвига и отрыва в глинистых грунтах и поверхностей скольжения в песчаных. Сдвиг по боковой поверхности может возникать в слабых глинистых грунтах. В схеме на рисунке 2 такая ситуация представлена вектором T сил трения на участке $p-a$ боковой поверхности сваи. Другие

разрывы сплошности грунтов обозначены точками c, e , обозначающими истоки поверхностей скольжения грунтов.

На большей части боковой поверхности грунт сопротивляется упруго, а в точках разрыва сплошности и на поверхностях скольжения – вязко-пластически. Метод ПВН позволяет разделить эти виды деформации основания модельной сваи и прогнозировать их в основании рабочей сваи, геометрически подобной и находящейся в тех же инженерно-геологических условиях, что и модельная. При этом приращения сопротивления пластической деформации вычисляются по данным испытания модельной сваи и вычисляются для рабочей сваи по условиям подобия [14] (рисунок 3).



Рисунок 3 – Изменение пластической составляющей осадки модельной сваи (показано горизонтальной штриховкой) и рабочей сваи (сплошная заливка) при её нагружении в течение года

Пластическое сопротивление имеет наибольшие приращения в начале нагружения при малых значениях осадки, когда области пластических деформаций имеют малые размеры, а основание сваи, в целом, мало нарушено. По мере увеличения размеров этих областей и увеличения общей площади поверхностей скольжения, приращения сопротивления пластической деформации уменьшаются.

Результаты применения расширенной схемы к оценке взаимного влияния свай в группе

Задачей испытания модельной сваи является, в числе прочих, определение размеров пластических областей грунта с помощью измерителей вертикальной деформаций грунта относительно боковой поверхности сваи [17] и глубинных марок [18, 19], что необходимо, так как упругие напряжения за пределами этих областей действуют на соседние сваи и другие подземные конструкции. Точки приложения равнодействующих упругих сил зависят от конфигурации пластических областей в каждом инженерно-геологическом элементе (ИГЭ). Обозначим их вертикальные и горизонтальные компоненты через Q_z и Q_y , соответственно, в глинистом грунте V_z и V_y – в песчаном. Для двух верхних ИГЭ на рисунке 2 это будут точки O_1, O_3 на периферии основания левой сваи, точки O_2, O_4 – правой (рисунок 4).

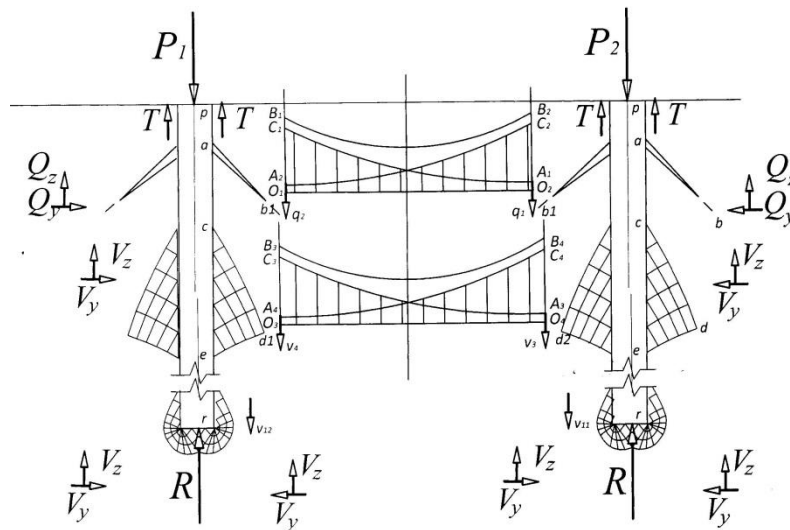


Рисунок 4 – Взаимодействие двух смежных свай посредством упругих сил в грунте.
Клиньями показаны трещины сдвига и отрыва в глинистых грунтах,
сетками – поля линий скольжения в песчаных грунтах

В точке O_1 действуют сила Q_z от нагрузки P_1 и дополнительная сила q_{z2} от нагрузки на соседнюю сваю P_2 . В точке O_2 действуют сила Q_z от нагрузки P_2 и дополнительная сила q_{z1} от нагрузки на соседнюю сваю P_1 . Силами Q_z и Q_y , равно как и V_z и V_y , обозначены равнодействующие напряжений, распределённых по поверхностям конических поясов [12, 14, 16, 20]. Для расчёта их долей, действующих на соседние сваи, надо учесть расстановку свай в фундаменте. Распределение сил на основе сравнения площадей сечений, применённое в работе [6] не представляется корректным, так как оно не учитывает конфигурацию полей напряжений в грунте вокруг свай: эти поля имеют выраженную концентрацию в направлении на соседнюю сваю.

Выделим эти направления в рассматриваемом примере свайного фундамента, содержащего 20 свай (рисунок 5).

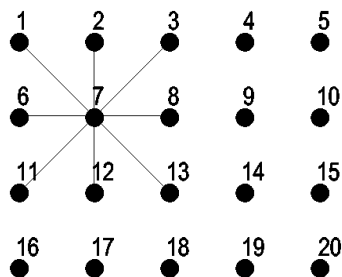


Рисунок 5 – Пример размещения свай в фундаменте по квадратной сетке 2,5×2,5 м

Так, при расстановке в четыре ряда по пять свай максимальное число «соседей» 8, например, для сваи № 7 на рисунке 6, в случае квадратной сетки лучи от сваи № 7 образуют одинаковые углы 45° . Поэтому по любому лучу на соседнюю сваю долю нагрузки от сваи № 7 через грунт примем вычисленной по формуле (1):

$$q_z = Q_z / 8. \quad (1)$$

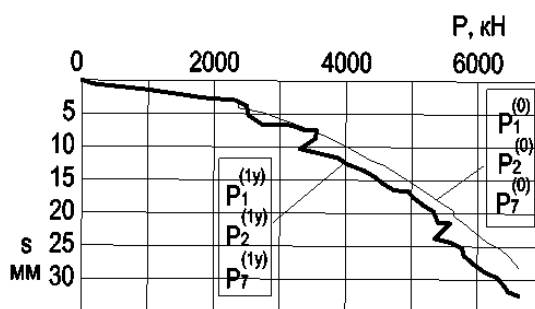


Рисунок 6 – Графики сопротивлений угловой, крайней и внутренней свай в ходе нагружения за двое суток ($P_1^{(0)}; P_2^{(0)}; P_7^{(0)}$) и за год ($P_1^{(1y)}; P_2^{(1y)}; P_7^{(1y)}$)

Однако значения сил, действующих на «соседей», зависят от расстояния до их периферий: дополнительная сила от сваи № 7 на сваю № 1 меньше, чем на сваю № 2, и наоборот: дополнительная сила от сваи № 1 на сваю № 7 меньше, чем сваи № 2 на сваю № 7. Действие свай №№ 1, 3, 13, 11 на сваю № 7 примем одинаковыми, вследствие их симметрии относительно сваи № 7, так же и действие на неё свай №№ 2, 8, 12, 6.

Тогда со стороны 8-ми соседних свай на сваю № 7 действует дополнительная сила, вычисленная по формуле (2):

$$q_z^{(in7)} = 4q_z^{(lin7)} + 4q_z^{(2in7)}, \quad (2)$$

где $q_z^{(lin7)} = Q_z(r_{17})/8$ и $q_z^{(2in7)} = Q_z(r_{27})/8$ – силы, действующие через грунт на сваю № 7 со стороны свай № 1 и № 2, соответственно.

Аналогично рассчитаем дополнительные силы, действующие на сваи № 1 и № 2 со стороны соседних свай (рисунок 5) по формулам (3) и (4):

$$q_z^{(in1)} = q_z^{(lin7)} + 2q_z^{(2in7)}; \quad (3)$$

$$q_z^{(in2)} = 2q_z^{(lin7)} + 3q_z^{(2in7)}. \quad (4)$$

Задаваясь законом изменения силы с расстоянием до расчётной точки, рассчитаем дополнительные силы с учётом их упругого распространения в конкретном грунте. Примем для примера: в глинистом грунте – по формуле (5):

$$q_z(r) = Q_z(0)/8 \times \exp(-0,3r), \quad (5)$$

в песчаном – по формуле (6):

$$q_z(r) = Q_z(0)/8 \times \exp(-0,5r), \quad (6)$$

где r – расстояние от точки приложения равнодействующей сил на периферии основания сваи в заданной ИГЭ до расчётной точки на периферии соседней сваи.

В нашем примере на рисунке 4 значения взяты по линии O_1O_2 для сечения по сваям №№ 1 и 2 для верхнего ИГЭ, по линии O_3O_4 – для второго и так далее для остальных ИГЭ, для которых эпюры не показаны. Линия C_1A_2 изображает эпюру дополнительных сил, действующих на сваю № 2 со стороны сваи № 1, а линия C_2A_1 – на сваю № 1 со стороны сваи № 2. Эпюра суммы этих сил между сваями №№ 1 и 2 показана линией B_1B_2 .

Аналогичные построения сделаны для сечений по сваям №№ 1 и 7, №№ 2 и 7. Остальные не отличаются от первых. Результаты расчётов сопротивлений свай ($P_1^{(0)}; P_2^{(0)}; P_7^{(0)}$) №№ 1, 2 и 7 с учётом дополнительных сил от действия соседних свай показаны на рисунке 6 одной линией, так как отдельные графики не различимы в выбранном масштабе. Второй линией представлены прогнозируемые сопротивления рабочих свай ($P_1^{(1y)}; P_2^{(1y)}; P_7^{(1y)}$), нагружаемых в течение года, в которых учтена релаксация сил сопротивления.

Так можно оценить, в первом приближении, «кустовой эффект» [4].

Поскольку сваи связаны между собой ростверком, то учёт релаксации сопротивления грунтов при взаимодействии свай приводит к общему снижению сопротивления всей группы свай в одном фундаменте, по сравнению с суммой сопротивлений одиночных свай/

Более детально различие сопротивлений разных свай можно увидеть на графиках их изменений (рисунок 7). В начале нагружения разность с сопротивлением одиночной сваи больше, чем в конце. Эти изменения зависят от того, какой ИГЭ играет определяющую роль в каждый момент испытания модельной сваи.

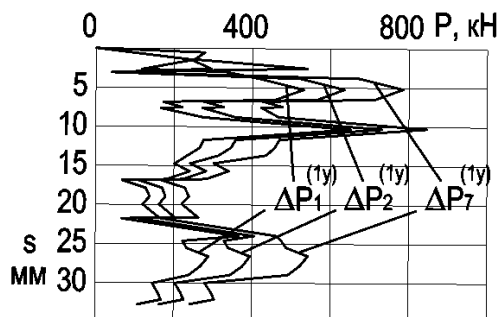


Рисунок 7 – Графики изменения сопротивлений угловой, крайней и внутренней свай ($P_1^{(1y)}$; $P_2^{(1y)}$; $P_7^{(1y)}$) в ходе нагружения в течение года, по сравнению с сопротивлением одиночной сваи

Различия между сопротивлениями разных свай уменьшаются, в целом, по мере увеличения осадки всего фундамента, – для разных свай по-разному, в зависимости от их положения в группе (рисунок 8). Расчёты показывают меньшее сопротивление внутренних свай, по сравнению с крайними, а крайних – с угловыми.

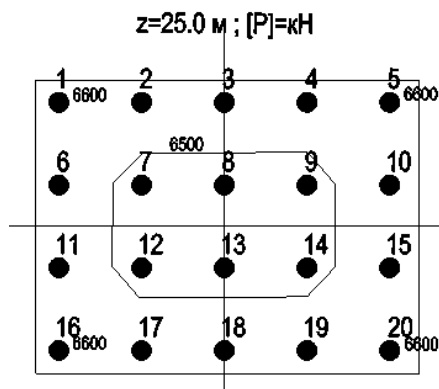


Рисунок 8 – Линии равных сопротивлений свай в уровне подошвы ростверка

Если сваи не связаны жёстким ростверком, то при одновременном нагружении они дадут разные осадки: крайние сваи больше угловых, а внутренние больше крайних (рисунок 9).

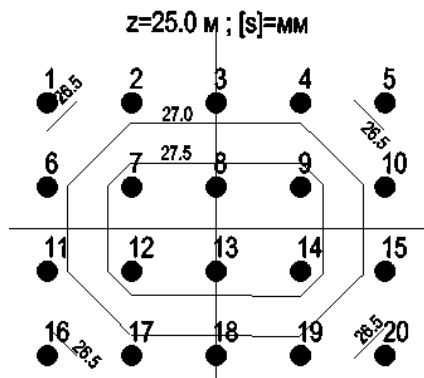


Рисунок 9 – Линии равных осадок отдельно стоящих свай после нагружения до одного значения вдавливающих сил

Аналогично рассматривается действие сил Q_y и V_y горизонтального направления. Они также убывают, по мере удаления от внешних границ пластических областей нагружаемой сваи. Вычисление сил $q_y = Q_y(r)/8$ позволяет оценить влияние нагружаемой сваи на ранее нагруженные сваи или другие конструкции.

Выводы

Расширенная схема предполагает упругое сопротивление грунта на большей части боковой поверхности буронабивной висячей сваи. Пластические деформации грунта развиваются от отдельных точек поверхности сваи вглубь массива и занимают в нём некоторые области, за пределами которых упругие напряжения обеспечивают равновесие основания сваи с грунтовым массивом. Эта схема позволяет определять сопротивление основания сваи в любой момент её нагружения до значения несущей способности, что и требуется для расчёта основания по деформациям.

Расширенная схема объясняет механизм взаимодействия свай в группе и причину резкого падения сопротивления при их сближении тем, что при малых расстояниях пластические области объединяются, а это приводит к частичным просадкам оснований смежных свай.

Расчёты по расширенной схеме предполагают большее число исходных данных, которые можно получить путём испытания модельной сваи методом ПВН в комплексе с измерением вертикальных перемещений глубинных марок и вертикальных деформаций грунта на контакте с боковой поверхностью сваи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев З.В. О распределении нагрузок крупнопанельного здания на свайный фундамент // Основания, фундаменты и подземные сооружения. Тр. 1-й науч. конф. Молодых специалистов (НИИОСП). М.: Стройиздат, 1967. С. 40-44.
2. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков В.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.
3. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. "Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design" State-of-the-Art Rep. Proc., 16th ICSMGE, Osaka, Japan, 2005. Vol. 1. Pp.177-213.
4. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. М.: Изд-во АСВ, 2015. 320 с.
5. Фиораванте В.Н., Ямиолковский М.Б. Физическое моделирование плитно-свайных фундаментов // Развитие городов и геотехническое строительство. 2006. № 10. С. 200-206.
6. Varaksin S., Hamidi B., Huybrechts N., Denies N. Ground Improvement vs. Pile Foundations, 3 International Symposium on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, 28 - 29 April 2016.
7. Петрухин В.П., Безволев С.Г., Шулятьев О.А., Харичкин А.И. Эффект краевой сваи и его учет при расчете плитного ростверка // Развитие городов и геотехническое строительство. 2007. № 11. С. 90-97.
8. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements. ASIRI National Project. IREX's Soil Specialist Cluster.
9. СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты». М., 2011.
10. Боков И.А., Федоровский В.Г. Взаимовлияние свай через грунт: сравнение аналитических и численных оценок // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 26-30.
11. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Сидоров В.В. Взаимодействие длинных свай с окружающим грунтом с учетом нелинейных и реологических свойств в условиях высотного строительства // 100+ Forum Russia 2019 - международный форум и выставка высотного и уникального строительства с 29 октября по 1 ноября 2019, Екатеринбург, 2019.
12. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Совершенствование технологии испытания буронабивной висячей сваи // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 12-20.
13. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Исследования работы оснований буронабивных свай // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 7. С. 18-23.
14. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Сопротивление основания буронабивной висячей сваи внешней нагрузке // Строительство и реконструкция. 2020. № 5(91). С. 22-31.

15. Ляшенко П. А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Трение грунта на поверхности соприкосновения с бетоном свай // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 1. С. 24-30.
16. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Учёт взаимодействия бетонных свай в основании фундамента // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 27-33.
17. Устройство для измерения сдвиговых деформаций грунта относительно поверхности бетонной конструкции. Патент на изобретение РФ № 2733339, E02D 1/02 / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. // Изобретения. Полезные модели. 2020. № 28.
18. Способ испытания грунтов статическим зондированием. Патент на изобретение РФ № 2398210, G01N 3/42 / Денисенко В.В., Ляшенко П.А. // Изобретения. Полезные модели. 2010. № 24.
19. Способ испытания грунтового основания свай. Патент на изобретение РФ № 2745499, E02D 1/00 / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. // Изобретения. Полезные модели. 2021. № 9.
20. Мариничев М.Б., Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Ткачев И.Г. Особенности расчета и конструирования свайных фундаментов высотных зданий в сложных грунтовых условиях // Свайные фундаменты: тенденции, проблемы и перспективы развития. В сб.: Презентации и тезисы докладов II международной научно-практической конференции (Москва, 9-10 сентября 2020). М.: Международная ассоциация фундаментостроителей, 2020. С. 44-103.

REFERENCES

1. Babichev Z.V. On the distribution of loads of a large-panel building on a pile foundation // Foundations, foundations and underground structures. Tr. 1st scientific. conf. Young specialists (NIIOSP). M.: Stroyizdat, 1967. Pp. 40-44.
2. Bartolomey A.A., Omelchak I.M., Yushkov V.S. Pile foundations settlement forecast. M.: Stroyizdat, 1994. 384 p.
3. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. "Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design" State-of-the-Art Rep. Proc., 16th ICSMGE, Osaka, Japan, 2005. Vol. 1. Pp. 177-213.
4. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskiy V.V., Ponomarev A.B. Piles and pile foundations. Structures, design and technologies / M.: ASV Publishing House, 2015. 320 p.
5. Fioravante V.N., Yamiolkovsky M.B. Physical modeling of slab-pile foundations // Urban Development and Geotechnical Construction. 2006. № 10. Pp. 200-206.
6. Varaksin S., Hamidi B., Huybrechts N., Denies N. Ground Improvement vs. Pile Foundations, 3 International Symposium on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, 28 - 29 April 2016.
7. Petrukhin V.P., Bezvoley S.G., Shulyat'ev O.A., Harichkin A.I. The effect of the edge pile and its consideration when calculating the slab grillage // Urban Development and Geotechnical Construction. 2007. № 11. Pp. 90-97.
8. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements. ASIRI National Project. IREX's Soil Specialist Cluster.
9. SP 24.13330.2011 «SNiP 2.02.03-85 Pile foundations». M., 2011.
10. Bokov I.A., Fedorovsky V.G. Interaction of piles through the soil: comparison of analytical and numerical estimates // Industrial and civil construction. 2016. № 10. Pp. 26-30.
11. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Interaction of long piles with surrounding soil taking into account nonlinear and rheological properties in high-rise construction conditions // 100+ Forum Russia 2019 - international forum and exhibition of high-rise and unique construction from October 29 to November 1, 2019, Yekaterinburg, 2019.
12. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Improvement of testing technology for bored hanging piles // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. Pp. 12-20.
13. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Research of the work of the foundations of bored piles // Construction: new technologies - new equipment. 2019. № 7. Pp. 18-23.
14. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Resistance of the foundation of a bored hanging pile to external load // Construction and reconstruction. 2020. № 5 (91). Pp. 22-31.
15. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Friction of soil on the surface of contact with concrete of the pile // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 1. Pp. 24-30.
16. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Accounting for the interaction of concrete piles at the base of the foundation // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. Pp. 27-33.
17. Device for measuring shear deformations of the soil relative to the surface of the concrete structure. Patent for invention of the Russian Federation № 2733339, E02D 1/02 / Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. // Inventions. Utility Models. 2020. № 28.
18. Method of testing soils by static sounding. Patent for invention of the Russian Federation № 2398210, G01N 3/42 / Denisenko V.V., Lyashenko P.A. // Inventions. Utility Models. 2010. № 24.

19. Method for testing the soil base with piles. Patent for invention of the Russian Federation № 2745499, E02D 1// Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. // Inventions. Utility Models. 2021. № 9.
20. Marinichev M.B., Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Tkachev I.G. Features of the calculation and design of pile foundations of high-rise buildings in difficult soil conditions // Pile foundations: trends, problems and development prospects. In Sat: Presentations and Abstracts of the II International Scientific and Practical Conference (Moscow, September 9-10, 2020). M.: International Association of Foundation Builders, 2020. Pp. 44-103.

Информация об авторах:

Ляшенко Павел Алексеевич

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.

E-mail: lyseich1@yandex.ru

Денисенко Виктор Викторович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры кадастра и геоинженерии.

E-mail: denvivi@yandex.ru

Мариничев Максим Борисович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.

E-mail: marinichev@list.ru

Information about authors:

Lyashenko Pavel Al.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.

E-mail: lyseich1@yandex.ru

Denisenko Viktor V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of cadastre and geoengineering.

E-mail: denvivi@yandex.ru

Marinichev Maxim B.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.

E-mail: marinichev@list.ru

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, М.С. МИНЕЕВ¹

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

КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

Аннотация. В статье представлен метод определения напряжений, возникающих в защитном слое бетона при наличии пористой зоны вокруг межфазной среды «сталь-бетон».

Показано, что радиальные трещины формируются и распространяются в бетоне, окружающем арматуру, до тех пор, пока не наступит предельное состояние работоспособности, такое как скол или расслоение бетона.

Создаваемые кольцевые растягивающие напряжения в бетоне сильно зависят от отношения объема единицы массы ржавчины к объему железа.

Приведены расчётные формулы для определения давления, которое продукты коррозии прикладывают к слою бетона.

Ключевые слова: защитный слой бетона, растрескивание, граница раздела «сталь-бетон», пористая зона, растягивающие напряжения.

A.G. TAMRAZYAN¹, M.S. MINEEV¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

CALIBRATION OF THE CORROSION CRACKING MODEL OF PROTECTIVE CONCRETE LAYER

Abstract. The article presents a method for determining the stresses arising in the protective layer of concrete in the presence of a porous zone around the "steel-concrete" interphase medium.

It has been shown that radial cracks form and propagate in the concrete surrounding the reinforcement until the ultimate serviceability state, such as chipping or delamination of concrete, occurs.

The generated hoop tensile stresses in concrete strongly depend on the ratio of the volume of a unit mass of rust to the volume of iron.

Calculated formulas for the pressure applied by corrosion products to the concrete layer are given.

Keywords: concrete protective layer, cracking, steel-concrete interface, porous zone, tensile stresses.

Введение

Многие эмпирические, аналитические и численные модели растрескивания толщины защитного слоя бетона, вызванные коррозией стальной арматуры, основаны на предположении о формировании кругового слоя ржавчины вокруг корродированной арматуры [1]. Напряжения, возникающие в защитном слое бетона, обычно рассчитываются с использованием схем толстостенного цилиндра под равномерным внутренним давлением [2]. Кроме расширяющего характера продуктов коррозии, на растрескивание бетонного слоя влияют и другие факторы [3,4]. Решающим в этом отношении является наличие пористой зоны вокруг межфазной среды «сталь-бетон», называемой "диффузионной" зоной [5]. Эта область должна быть полностью заполнена продуктами коррозии, прежде чем какое-либо внутреннее давление может быть применено к защитному слою бетона. Диффузионная зона

может быть смоделирована в виде полого цилиндра вокруг корродированной арматуры толщиной 0,1-0,2 мм [6]. Кроме того, проникновение продуктов коррозии в радиальные трещины, образующиеся в бетонном слое, уменьшает чистый объем ржавчины, которая оказывает давление на защитный слой бетона. Таким образом, из общего количества произведенной ржавчины только чистый объем продуктов коррозии способствует растрескиванию защитного слоя бетона:

$$V_{net} = V_{prod.rust} - V_{rad.crc} - V_{dif.zone}.$$

Срок службы корродирующей железобетонной конструкции обычно делится на три этапа. В самом начале высокая щелочность продуктов гидратации цемента приводит к образованию очень тонкого слоя гидроксида железа вокруг арматуры. На первом этапе содержание хлорида или углекислого газа в защитном слое бетона достигает порогового значения, достаточного для снижения щелочности порового раствора бетона до такой степени, что защитный слой гидроксида железа дестабилизируется, подвергая поверхность арматуры коррозии.

Как только появляется достаточное количество кислорода и влаги, эта стадия заканчивается, и арматурная сталь начинает корродировать [7,8]. Эта стадия может быть смоделирована с помощью закона диффузии Фика. Во второй фазе, также называемой свободным расширением продуктов коррозии, твердое железо превращается в ионы железа, накапливающиеся в диффузионной зоне. Таким образом, на этом этапе в бетонном слое не возникает никаких напряжений. Как только диффузионная зона заполняется ржавчиной, начинается третья стадия. На этом этапе в бетоне развиваются растягивающие напряжения, обусловленные коррозией арматурной стали. Радиальные трещины формируются и распространяются в бетоне, окружающем арматуру, до тех пор, пока не наступит предельное состояние работоспособности, такое как скол или расслоение бетона.

Растрескивание, вызываемое коррозией, рассматривалось как начальная деформация, возникающая в элементах вблизи проржавевшего арматурного стержня. Текущая реализация состоит из модели, воплощенного в ПК VecTor2.

Модели и методы

Согласно формулировке [9], защитный слой бетона представляет собой два толстостенных цилиндра, находящихся под равномерным внутренним давлением. В любой момент во время третьей стадии происходит растрескивание внутреннего цилиндра, в то время как во внешнем цилиндре этого не происходит.

Для каждого образца время образования трещин t_{cr} попадает в широкий интервал, основанный на предполагаемом типе продукта коррозии (или предполагаемом значении коэффициента расширения α_1). В результате этого невозможно сделать никаких выводов относительно точности используемой формулировки. Это указывает на необходимость калибровки моделей растрескивания защитного слоя бетона путем определения типа продукта коррозии, полученного в процессе коррозии. Большинство методов оценки типа ржавчины относятся к области химической инженерии, и их использование требует специальных знаний в этой области. Предлагаемый метод идентификации типа ржавчины заключается в измерении плотности образующейся ржавчины.

Растрескивание бетона моделируется двухлинейной ветвью размягчения, которая завершается при растягивающей деформации обруча, соответствующей нулевой прочности на растяжение (рисунок 1) и сформулировано уравнением:

$$\begin{cases} \sigma_{\theta}(r) = E_b \varepsilon_{\theta}(r) & \varepsilon_{\theta} \leq \varepsilon_{bt} \\ \sigma_{\theta}(r) = R_{bt} \left[1 - 0,85 \frac{\varepsilon_{\theta}(r) - \varepsilon_{bt}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_{bt}} \right] & \varepsilon_{bt} < \varepsilon_{\theta}(r) \leq \varepsilon_1 \\ \sigma_{\theta}(r) = 0,15 R_{bt} \frac{\varepsilon_u - \varepsilon_{\theta}(r)}{\varepsilon_u - \varepsilon_1} & \varepsilon_1 < \varepsilon_{\theta}(r) \leq \varepsilon_u \end{cases}$$

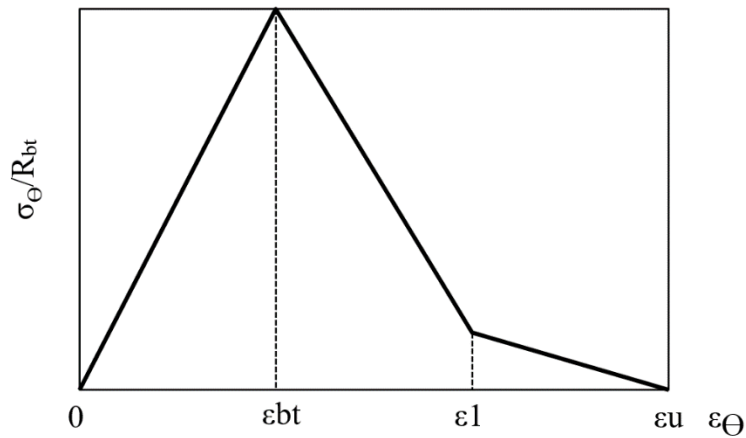


Рисунок 1 -Диаграмма двухлинейного размягчения обыкновенного бетона при растяжении

Модуль размягчения рассчитывается на основе энергии разрушения, рассеиваемой на единицу длины локализованной трещины.

Общий объем ржавчины V_{rust} , рассчитывается как сумма части, которая проникает в радиальные трещины, образованные в защитном слое бетона V_{crc} , и части, которая создает радиальное давление на этот слой бетона, V_{net} равна

$$V_{rust} = V_{net} + V_{cr} = \pi t_r (2R_s + t_r) + (\sum w)(R_i - R_r)/2, \quad (1)$$

где t_r - толщина слоя ржавчины,

R_s - уменьшенный радиус арматурного стержня,

R_r - радиус арматурного стержня и ржавчины вокруг него,

$\sum w$ - теоретическая радиальная ширина трещины,

R_i - радиус, до которого треснул слой бетона (при R_i , $\varepsilon_\theta = R_{bt}/E_b$).

Второе слагаемое в (1) приходится на объем ржавчины, которая проникает в радиальные трещины. Хотя в этой формулировке растрескивание бетонного слоя моделируется как размазанный процесс, V_{crack} вычисляется на основе теоретической модели одной радиальной трещины, показанной на рисунке 2.

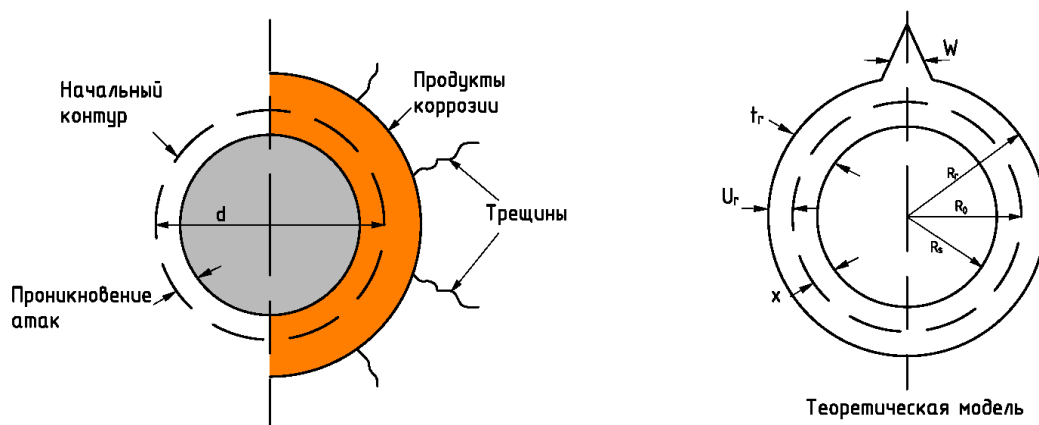


Рисунок 2-Теоретическая модель растрескивания защитного слоя бетона

Уменьшение радиуса арматуры и необходимое радиальное смещение границы раздела «сталь-бетон» обозначаются как x и u_r . Таким образом, пунктирная окружность на рисунке 2, показывающая начальное расположение границы раздела «сталь-бетон», должна быть вытянута относительно ее периметра на $2\pi u_r$. Если напряжение, вызванное этой

деформацией, больше, чем растрескивание бетона, такое увеличение периметра будет компенсировано радиальным раскрытием трещины, равным $2\pi u_r$:

$$\sum w = 2\pi u_r (R_0) = 2\pi (R_r - R_0).$$

При развитии коррозионного процесса, в зависимости от условий окружающей среды, таких как относительная влажность и наличие кислорода, вокруг арматуры образуется комбинация продуктов коррозии. Эти продукты занимают гораздо больший объем, чем исходное железо, потребляемое в реакции. Такое увеличение объема приводит к радиальному давлению на границе раздела «сталь-бетон» и развитию растягивающих напряжений в окружающем бетоне, что в конечном итоге, приводит к растрескиванию бетонного слоя. Создаваемые кольцевые растягивающие напряжения в бетоне сильно зависят от отношения объема единицы массы ржавчины к объему железа, обозначенного как a_1 [10].

Используя закон сохранения массы, общий объем ржавчины также может быть рассчитан на основе объема потребляемой стали в коррозионной реакции

$$V_{rust} = a_1 \Delta V_{st} = a_1 \pi (2R_0 x - x^2), \quad (2)$$

где значения a_1 для различных типов продуктов коррозии приведены в таблице 1.

Таблица 1- a_1 для различных типов продуктов коррозии

Продукт коррозии	Отношения объема единицы массы ржавчины к объему железа a_1
FeO	1.80
Fe_3O_4	2.00
Fe_2O_3	2.20
$Fe(OH)_2$	3.75
$Fe(OH)_3$	4.20
$Fe(OH)_3 \cdot 3H_2O$	6.40

Результаты и обсуждение

По уравнению (1) и (2) толщина слоя ржавчины t_r , может быть количественно определена как функция проникновения коррозионной атаки X , следующим образом:

$$t_r = \frac{a_1 (2R_0 x - x^2) + x (R_i - R_0 + x)}{R_i + R_0}.$$

Радиальное смещение границы раздела «сталь-бетон» должно быть достаточно большим, чтобы вместить увеличение объема железа, которое превращается в ржавчину. Таким образом, рассматривая эту физическую интерпретацию коррозионной реакции как граничное условие, должно быть следующее равенство:

$$u(R_0) = t_r - x = \frac{(a_1 - 1)(2R_0 x - x^2)}{R_i + R_0}. \quad (3)$$

Радиальное смещение на любом радиусе задается по формуле:

$$u(r) = \frac{R_{bt}}{E_b} \cdot r \cdot \frac{(R_c/r)^2 + 1}{(R_c/R_i)^2 + 1}. \quad (4)$$

Предполагается, что радиальное смещение во внутреннем треснувшем цилиндре происходит по той же схеме, что и в упругой части. Следовательно, когда слой бетона не полностью треснул ($R_i \leq R_c$), радиус треснувшего бетона R_i , может быть получен путем

вычисления толщины слоя ржавчины и приравнивания уравнения (3) и (4) при $r = R_0$. Если радиальное смещение определено как функция радиуса, тангенциальная деформация равна:

$$\varepsilon_{\theta}(r) = \frac{u(r)}{r} = \frac{R_{bt}}{E_b} \cdot \frac{(R_c/r)^2 + 1}{(R_c/R_i)^2 + 1}.$$

В этот момент давление, которое продукты коррозии прикладывают к слою бетона p_{corr} , может быть рассчитано из уравнения

$$p_{corr} \cdot R_0 = R_{bt} \frac{R_c^2 - R_i^2}{R_c^2 + R_i^2} \cdot R_i + \int_{R_0}^{R_i} \sigma_{\theta}(r) dr. \quad (5)$$

Интегрирование по касательным напряжениям аппроксимируется вычислением двух других переменных, определяемых как:

$$RR1 = \frac{R_c}{\sqrt{\varepsilon_1 \cdot \frac{E_0}{R_{bt}} \left[\left(\frac{R_c}{R_i} \right)^2 + 1 \right]} - 1} \quad \text{и} \quad RRu = \frac{R_c}{\sqrt{\varepsilon_u \cdot \frac{E_0}{R_{bt}} \left[\left(\frac{R_c}{R_i} \right)^2 + 1 \right]} - 1}, \quad (6)$$

где $RR1$ определяется как радиальное расстояние, на котором достигается кольцевая деформация $\varepsilon_1(\sigma_{\theta} = 0,15R_{bt})$, а RRu радиальное расстояние, на котором кольцевая деформация достигает $\varepsilon_u(\sigma_{\theta} = 0)$. Таким образом, (10) можно преобразовать следующим образом:

$$p_{corr} \cdot R_0 = R_{bt} \frac{R_c^2 - R_i^2}{R_c^2 + R_i^2} \cdot R_i + \frac{1,15}{2} R_{bt} (RR1 - RRu). \quad (7)$$

Когда защитный слой бетона полностью треснул $R_i = R_c$, радиальное смещение задается по формуле:

$$u(r) = \varepsilon_{\theta c} \cdot r \cdot \frac{(R_c/r)^2 + 1}{2}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{\theta c}$ кольцевое напряжение при $r = R_c$.

Для того чтобы вычислить $\varepsilon_{\theta c}$, используется то же граничное условие и уравнения (3) и (8) приравниваются и решаются для $\varepsilon_{\theta c}$.

Так как на этой стадии внешний радиус треснувшего внутреннего цилиндра постоянен и равен R_c , а также потому, что кольцевая деформация на границе раздела внутреннего треснувшего и внешнего упругих цилиндров равна $\varepsilon_{\theta c}$, уравнения (6) и (7) можно упростить:

$$RR1 = \frac{R_c}{\sqrt{\frac{2\varepsilon_1}{\varepsilon_{\theta c}} - 1}}, \quad RRu = \frac{R_c}{\sqrt{\frac{2\varepsilon_u}{\varepsilon_{\theta c}} - 1}}.$$

Растрескивание защитного слоя бетона моделируется с помощью конечно-разностной схемы [11], в которой толщина защитного слоя бетона разбивается на ряд сегментов.

Выводы

В статье представлен метод определения напряжений, возникающих в защитном слое бетона при наличии пористой зоны вокруг межфазной среды «сталь-бетон».

Показано, что радиальные трещины формируются и распространяются в бетоне, окружающем арматуру, до тех пор, пока не наступит предельное состояние работоспособности, такое как скол или расслоение бетона.

Создаваемые кольцевые растягивающие напряжения в бетоне сильно зависят от отношения объёма единицы массы ржавчины к объёму железа.

Приведены расчётные формулы для определения давления, которое продукты коррозии оказывают на слой бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов С.И., Пахомова Е.Г., Гордеев А.В., Маяков А.С. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений // Известия Курского государственного технического университета. 2009. № 4. С. 74-78.
2. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 49-51.
3. Бондаренко В.М. О влиянии коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 1999. №6. С.27-30.
4. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение // Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.
5. Angst U., Elsener B., Jamali A., Adey B. Concrete cover cracking owing to reinforcement corrosion - theoretical considerations and practical experience // Materials and Corrosion. 63(12). 1069-1076.
6. Angst U. Chloride induced reinforcement corrosion in concrete: Concept of critical chloride content - methods and mechanisms. (Doctoral Thesis). Norwegian University of Science and Technology.
7. Tamrazyan A., Popov D. Reduce of bearing strength of the bent reinforced concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2017. С. 00162.
8. Колчунов В.И., Меркулов С.И., Дворников В.М. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Известия Курского государственного технического университета. 2004. № 1. С. 117-122.
9. Wang X.H., Liu X.L. Modelling effects of corrosion on cover cracking and bond in reinforced concrete. Magazine of Concrete Research. 56(4). 191-199.
10. Bhargava K., Ghosh A.K., Mori Y., Ramanujam S. Modeling of time to corrosion- induced cover cracking in reinforced concrete structures. Cement and Concrete Research, 35, 2203-2218.
11. Тамразян А.Г., Минеев М.С. Матрица жесткости корродированных железобетонных элементов для конечно элементного моделирования. Сборник материалов XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (29-30 июня 2020 г.). Тула, 2020. С. 161-166.

REFERENCES

1. Merkulov S.I., Pakhomova Ye.G., Gordeyev A.V., Mayakov A.S. Issledovaniye rabotosposobnosti izgibayemykh zhelezobetonnykh konstruktсий s uchetom korrozionnykh povrezhdeniy // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2009. № 4. S. 74-78.
2. Smolyago G.A. Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I. Izucheniye vliyaniya defektov zhelezobetonnykh konstruktсий na razvitiye korrozionnykh protsessov armatury // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2014. № 12. S. 49-51.
3. Bondarenko V.M. O vliyani korrozionnykh povrezhdeniy na silovoye soprotivleniye zhelezobetonnykh konstruktсий // Beton i zhelezobeton. 1999. №6. S. 27-30.
4. Tamrazyan A.G. K otsenke riska chrezvychaynykh situatsiy po osnovnym priznakam yego proyavleniya na sooruzheniye // Beton i zhelezobeton. 2001. № 5. S. 8-10.
5. Angst U., Elsener B., Jamali A., Adey B. Concrete cover cracking owing to reinforcement corrosion - theoretical considerations and practical experience. Materials and Corrosion. 63(12). 1069-1076.
6. Angst U. Chloride induced reinforcement corrosion in concrete: Concept of critical chloride content - methods and mechanisms. (Doctoral Thesis). Norwegian University of Science and Technology.
7. Tamrazyan A., Popov D. Reduce of bearing strength of the bent reinforced concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. V sbornike: MATEC Web of Conferences. 2017. S. 00162.
8. Kolchunov, V.I. Merkulov S.I., Dvornikov V.M. Usileniye zhelezobetonnykh konstruktсий ekspluatiruyemykh zdaniy i sooruzheniy // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2004. № 1. S. 117-122.
9. Wang X.H., Liu X.L. (. Modelling effects of corrosion on cover cracking and bond in reinforced concrete. Magazine of Concrete Research. 56(4). 191-199.

10. Bhargava K., Ghosh A. K., Mori Y., Ramanujam S. Modeling of time to corrosion- induced cover cracking in reinforced concrete structures. Cement and Concrete Research, 35, 2203-2218.
11. Tamrazyan A.G., Mineyev M.S. Matritsa zhestkosti korrodirovannykh zhelezobetonnykh elementov dlya konechnoelementnogo modelirovaniya. Sbornik materialov XXI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy stroitel'stva i stroitel'noy industrii» (29-30 iyunya 2020 g.). Tula, 2020. S. 161-166.

Информация об авторах:

Тамразян Ашот Георгиевич

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

доктор технических наук, профессор, действительный член Российской инженерной академии (РИА), советник
РААСН, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: tamrazian@mail.ru

Минеев Михаил Сергеевич

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

инженер, соискатель.

E-mail: geotechnics-eng@yandex.ru

Information about the authors:

Tamrazyan Ashot G.

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

doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of the Russian Engineering Academy (RIA), Advisor to RAACS,
Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: tamrazian@mail.ru

Mineev Mikhail S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
engineer, applicant.

E-mail: geotechnics-eng@yandex.ru

А.Е. ЕНИН¹, Э.И. ЩЕБЛЫКИНА-МОНАСТЫРЁВА¹

¹Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОВ БЛАГОУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ, ИМЕЮЩЕЙ КУЛЬТУРНЫЕ, АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРИРОДНЫЕ ОХРАННЫЕ РЕГЛАМЕНТЫ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕМИЛУКСКОГО ГОРОДИЩА

Аннотация. В данной работе рассмотрена территория, имеющая культурные, археологические и природные охранные регламенты её использования. Подняты проблемы сохранения и функциональной востребованности объектов культурного наследия, а также привлечения научного сообщества для исследования и дальнейшей музеефикации археологических памятников.

В статье рассмотрен парк в г. Семилуки Воронежской области с объектами природного и культурного наследия, его роль для жителей города. Изучены возможности использования таких территорий с соблюдением охранных регламентов. Разработана методология для сохранения исторического ландшафта и почвенного покрова при помощи формирования нового многофункционального общественного пространства и проектирования нестационарных сооружений. В работе выдвинуты предложения для дальнейшего развития подобных территорий с сохранением их уникальности.

Ключевые слова: объекты культурного наследия, археология, охранные регламенты, природные территории, благоустройство, парк.

A.E. ENIN¹, E.I. SHCHEBLYKINA-MONASTYREVA¹

¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

FORMATION OF TERRITORIAL IMPROVEMENT METHODS WITH CULTURAL, ARCHEOLOGICAL AND NATURAL PROTECTIVE REGULATIONS OF ITS USE ON THE EXAMPLE OF THE SEMILUK TOWN

Abstract. This paper considers a territory that has cultural, archaeological and natural conservation regulations for its use. The problems of preservation and functional relevance of cultural heritage objects, as well as attracting the scientific community for research and further museification of archaeological monuments are raised.

The article examines a park in the city of Semiluki, Voronezh region with objects of natural and cultural heritage, its role for city residents. The possibilities of using such territories have been studied in compliance with protective regulations. A methodology has been developed for preserving the historical landscape and soil cover by creating a new multifunctional public space and designing non-stationary structures. The paper put forward proposals for the further development of such territories while preserving their uniqueness.

Keywords: objects of cultural heritage, archeology, protective regulations, natural areas, landscaping, park.

Введение

В общественной жизни происходит активизации человеческого фактора, как усиливается внимание к форматированию духовного облика человека. Время выдвигает как настоятельно необходимую задачу воспитания у людей чувство гордости за свою историческую Родину, за её прошлое и настоящее, задачу преодоления национальной органичности и эгоизма, воспитания чувств ответственности за будущее мировой цивилизации, за то, что мы оставим нашим потомкам [8, 9]. С таким подходом, естественно, не совместимы желание как бы отгородиться прошлым от проблем сегодняшнего этапа нашего развития, стремления чуть ли не противопоставить прошлое настоящему.

Возрастает интерес к осмыслению пройденного пути, осознанию исторических корней. Этим и объясняется усиливающееся внимание широких кругов общественности к памятникам истории и культуры – свидетелям и носителям того, что мы называем нашим историко-культурным наследием.

Необходимо иметь ввиду, что у каждой из современных культур есть равномерные слои культурного наследия. Культурное наследие, являясь неотъемлемым звеном любой современной культуры, выступает категорией исторической [15]. Оно включает в себя разные наслоения прошлого, является наследием именно историко-культурным. В то же время формирование отношения к ним как к памятникам истории и природы начинается со стремления выявить и обратить внимание на них у общественности. В результате пополняется фонд историко-культурного наследия, и создаются предпосылки к его сохранению и использованию на благо людей [12].

Целенаправленные усилия в этом деле предпринимаются и в центральном Черноземье, в том числе и в Воронежской области. Сейчас на государственной охране в Воронеже находится около 300 памятников истории и археологии. У общественности всё ещё бытует мнение будто бы памятники, находящиеся на нашей территории, имеют локальное или местное значение. Но необходимо иметь ввиду: ценностная грань между разными категориями памятников не абсолютна, она весьма условна. Значимость археологического или природного памятника часто выявляется, когда он становится предметом специального анализа и изучения. Так можно было сказать до начала раскопок о ныне широко известном Семилукском городище, которое ещё вначале 80х признавали памятником второстепенном [11].

Отношение к памятникам проявляется и в том, приведены ли они в порядок и как используются. Причём приводить в порядок памятник – это не только его реставрировать и музеефицировать. В конечном итоге памятник призван жить современной жизнью, должен правильно использоваться. Чаще всего исторические, а иногда и природные памятники, находится в городской черте или даже в его центральной части, но из-за запретов по охране памятников немногие города пытаются благоустраивать эти места, что приводит к большим пустующим и неухоженным территориям, которые с удовольствием использовались бы жителями, учитывая существующую хорошую инфраструктуру [1, 2].

Модели и методы

В данной статье рассмотрены принципы и методы благоустройства уникальной территории Семилукского парка «Юбилейный» или как его называют жители «Три самолёта». Высокий правый берег реки Дон является объектом исследований геологов, археологов. Для жителей древнейшей эпохи такой рельеф был благоприятным местом для жизни. Главная ценность рельефа сегодня в том, что спустя тысячи лет, он сохранился в неизменном виде (рисунок 1) [6].



Рисунок 1 – Границы и рельеф парка «Юбилейный» в г. Семилуки

Территория является уникальной – это и особо охраняемая территория воронежской области и памятник археологии. В этом месте были найдены останки животных с девонского периода в палеозое. Он начался около 408 млн., а закончился 360 млн. лет назад. В Семилукском районе были найдены останки ихтиозавров и моллюсков. А также останки мамонтов более позднего периода. Во многом способствовало многообразие полученных здесь материалов IV-III вв. до н.э. хозяйственно-бытового и военного значения. Были найдены материальные свидетельства существования здесь поселения в эпоху бронзы (II тыс. до н.э.), ранее железного века (2-ая половина I тыс. до н.э.) Славяне основали на этом месте укрепленное поселение IX-X вв., а в эпоху древней Руси в XII-XIII вв. был городок с ремесленными слободами [13,14]. (рисунок 2).

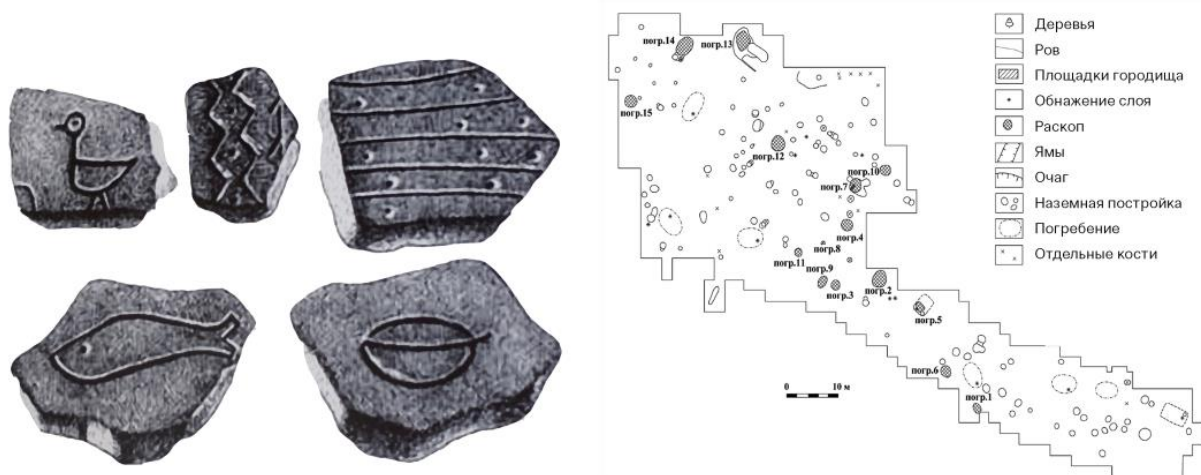


Рисунок 2 – Схема раскопок Семилукского городища и некоторые найденные плитки времен неолита

Согласно приказу №71-01-07/29 25 января 2017 года были утверждены границы территории объекта культурного наследия федерального значения «Семилукское (многослойное) городище» расположенного в г. Семилуки Семилукского муниципального района. По данному приказу территорию парка «Юбилейный» разделена на два городища: северное и южное [16].



Рисунок 3 – Границы Северного и Южного городища

Ограничения использования северного городища, касающиеся благоустройства данной территории:

- запрещается строительство и реконструкция зданий и сооружений, в случае наличия или выявления археологических объектов, требующих музеефикации.
- запрещается нарушение дернового слоя и выемка грунта, ранее не подвергавшихся перекопке и повреждению.

Ограничения использования южного городища, касающиеся благоустройства данной территории:

- запрещаются земляные работы и капитальное строительство, без предварительного проведения мероприятий по обеспечению и сохранению объекта культурного наследия;
- запрещается проведение археологических исследований объекта культурного наследия без наличия у исследователя разрешения;
- запрещается применение металлодетекторов, георадаров без наличия у исследователя разрешения;
- запрещается нарушение дернового слоя и выемка грунта, за исключением научной и археологической деятельности;
- запрещается несанкционированное размещение отходов производства и потребления.

Разрешение использования северного городища, касающиеся благоустройства данной территории: проведение изыскательских, проектных, земляных, строительных, мелиоративных, хозяйственных работ, при условии соблюдения требований особого режима использования земельного участка, в границах которого располагается объект археологического наследия, и при условии реализации согласованных с департаментом охраны объектов культурного наследия обязательных разделов об обеспечении сохранности объектов культурного наследия[3].

Разрешение использования северного и южного городища касающиеся благоустройства данной территории:

- благоустройство, направленное на сохранение, использование и популяризацию объекта культурного наследия;
- деятельность научно-исследовательских организаций, связанная с проведение археологических исследований и научным изучением объекта, осуществляемая в рамках действующего законодательства;

- мероприятия по консервации, музеефикации объектов археологического наследия, а также другая деятельность, необходимая для обеспечения сохранности объекта в его историческом и ландшафтном окружении;
- организация и/или установка мемориальных досок и информационных знаков;
- организация обеспечения свободного доступа граждан к объекту культурного наследия;
- покос травы, порубка древесно-кустарниковой растительности.

В 2013 году участок территории парка «Юбилейный» было издано постановление правительства Воронежской области от 25.03.2013 №222 о включения участка в реестр особо охраняемых природных территорий, в связи, с чем был определены дополнительные режимы использования (рисунок 4) [17].

Содержание объектов благоустройства на ООПТ осуществляется в целях сохранения их в надлежащем состоянии и обеспечения комфортных условий посетителей ООПТ.

Благоустройство на ООПТ осуществляется в целях упорядочения рекреационного использования территории, снижения рекреационных нагрузок на природные сообщества и объекты, а также создания благоприятных условий для отдыха в природном окружении на основании разработанных проектов. Организация использования ООПТ осуществляется в соответствии с установленным функциональным зонированием [10].

Применительно к ООПТ благоустройство включает:

- создание и обустройство входных зон с информационными площадками;
- устройство и ремонт экологических и прогулочных дорог, формирующих дорожную сеть всей ООПТ и каждой из функциональных зон;
- размещение и поддержание в исправном состоянии (ремонт, замена) площадок отдыха (детских, физкультурных, тихого отдыха и др.);
- установку и ремонт малых архитектурных форм (скамьи и лавки, столы, навесы от дождя, беседки, мостики, лестничные спуски);
- обустройство организованных пикниковых точек;
- обустройство пляжных зон и других мест отдыха у воды (в т.ч. у родников);
- организацию велосипедных маршрутов и маршрутов для катания на роликовых коньках и роликовых лыжах [7].

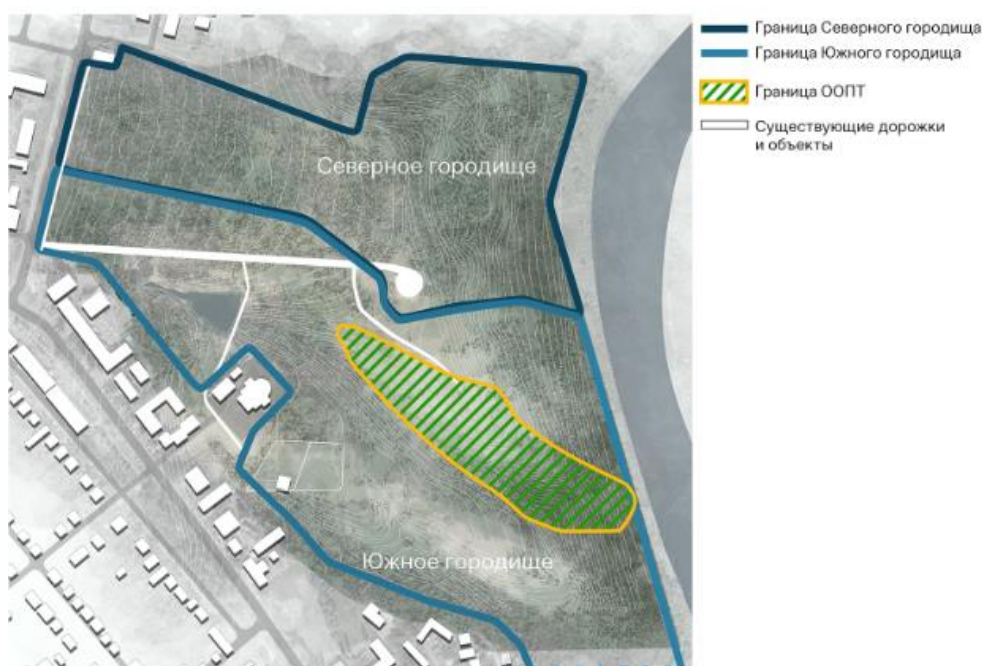


Рисунок 4 – Границы ООПТ

Результаты исследования и их анализ

Парк, в народе названный «Три самолета», имеет большое локальное значение для жителей города. Был произведен опрос и соучаствующее проектирование с различными городскими сообществами и разными группами населения, в котором приняли участие около 120 человек. Основные локальные ценности, рассказанные жителями города Семилуки, представлены на рисунке 5. Парк очень дорог и несмотря на его неухоженность привлекает не одно поколение. Горожане очень переживают, что при неаккуратном вмешательстве в среду, может испортиться рельеф, из парка уйдёт любимая флора и фауна и территория потеряет свою атмосферу.



Рисунок 5— Локальные ценности территории для местных жителей

Исходя из анализа территории, можно сделать вывод, что территория привлекает людей с бронзового века и по настоящее время это место является любимым у горожан, несмотря на то, что территория является не благоустроенной. Отсутствие малых архитектурных форм и площадок отдыха вызвано жестким регламентом использования территории, которая признана объектом культурного наследия и особо охраняемой природной территорией [5].

Согласно выводам, были выявлены следующие цели проекта развития и благоустройства территории парка:

1. Разработка методического обеспечения работы с территориями, находящимися на археологических объектах культурного наследия;
2. Привлечение Министерства культуры РФ для создания научно-исследовательского музея Семилукского городища;
3. Активация жизни парка для дальнейшей перспективы развития территории.

Для достижения поставленных целей поставлены следующие задачи:

1. Формирование нового многофункционального общественного пространства;
2. Поддержание и сохранение исторических ландшафтов;
3. Проектирование уникальных нестационарных сооружений, органично вписывающихся в природную среду парка.
4. Создание знакового для города и области проекта, привлекающего туристов;
5. Развитие у жителей духа патриотизма и экологической грамотности путем просвещения в области краеведения;
6. Популяризация истории края посредством проектных решений и малых архитектурных форм;

7. Привлечение научного сообщества на территорию для исследования и последующей музеефикации памятника.

Ограничения парка в границах территории объекта культурного наследия Федерального значения формируют уникальный подход к каждому квадратному метру и разработку методик проектирования на подобных территориях (рисунок 6).

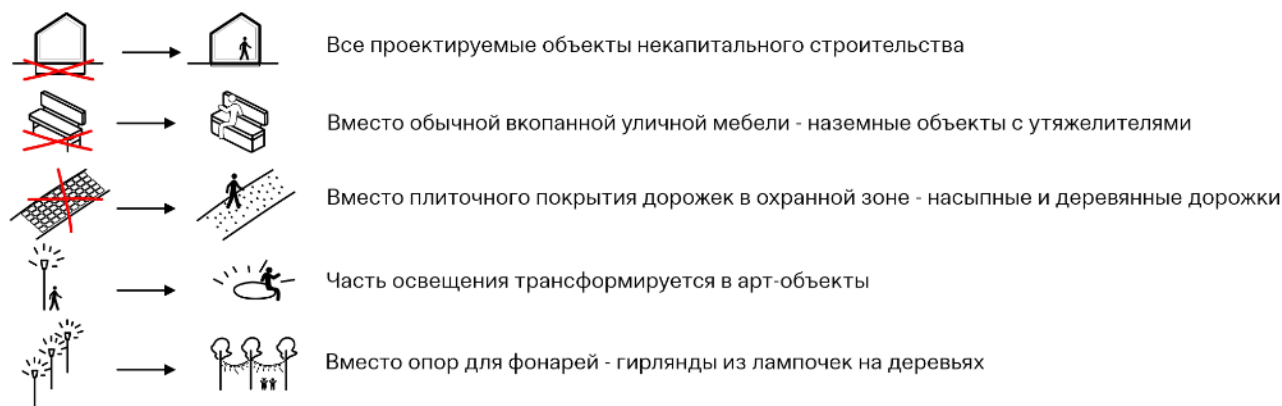


Рисунок 6 – Ограничения парка в границах территории объекта культурного наследия Федерального значения

Из-за запрета капитального строительства и прокладки коммуникаций все проектируемые объекты разрабатываются некапитальными и сезонного значения. В регламенте использования земель историко-культурного значения запрещается нарушение земляного покрова территории, поэтому вместо обычной вкопанной уличной мебели используется наземные объекты с утяжелительными объемами внизу [4]. Если рассмотреть на примере лавочек, то это могут быть лавки с бетонным или каменным основанием. Так же чтобы не нарушать почву вместо плиточного покрытия дорожек, которое требует погружение в землю на 30-45 см, предлагается использование насыпные покрытия или деревянные настилы. Для создания безопасной освещенной зоны на территории парка возможно замена освещения в арт объекты, которые не требуют заглубления в почву, а также вместо опор для фонарей – использование гирлянд с лампочками между деревьями (рисунок 7). Таким образом, могут быть включены все необходимые элементы благоустройства, но при этом будут соблюден регламент охраны территории.



Рисунок 7 – Освещение на территории Семилукского городища

При разработке генерального плана парка «Юбилейный» были учтены регламенты по использованию северного и южного городища (рисунок 8). Более жесткие регламенты в Южном городище, поэтому основные объекты функционального значения отнесены в северное городище, где возможно небольшое погружение в землю на 15 см, что позволяет разместить некоторые малые архитектурные формы. В Южном городище задействована

только существующая главная аллея, которая была проложена до определения статуса территории. В остальном все объекты расположены на поверхности земли, не затрагивая почвенный покров. Зона территории ООПТ не задействована вовсе, из-за крутого рельефа и регламента её использования.



Рисунок 8— Генеральный план парка «Юбилейный» в г. Семилуки

Идентичность малых архитектурных форм выражена в новой форме, которая подчеркивает уникальность территории, при этом соблюдая её меры ограничений. Торговые павильоны располагаются на месте, где уже проводились земляные работы. Изготовлены из металлокаркаса и дерева. Облицованы листами из нержавеющей стали с отражающей поверхностью, чтобы максимально раствориться в существующей окружающей среде. Заглубляются павильоны на 30 см (рисунок 9).

Вкапывается в землю на 30-50см	Минимально вкапывается в землю на 5-15см	На поверхности земли без вкапывания
Павильоны	Деревянный настил (смотровые площадки)	Сцена
Фонари на аллее Героев	Осветительные приборы рядом с роликовой дорожкой	Светящиеся камни
Роликовая дорожка	Навигационные элементы	Лавочки в Южном городище
Домик для кошек	Лавочки в Северном городище	Уличная мебель у павильонов (переносимая)
Санитарный узел		Декоративные светильники
Стенды на аллее Героев		Насыпные дорожки

Рисунок 9 — Глубина заложения малых архитектурных форм в зависимости от мер ограничений

Входная группа в парк представлена из высоких восточных туй в катках, которые формируют направление главной аллеи и акцентируют внимание прохожих (рисунок 10). На входе в парк проведена красная линия, раскрывающая свой смысл на инфостенде для того, чтобы все посетители понимали роль этой территории в истории и бережно к ней относились.



Рисунок 10– Входная группа в парк и на территорию Семилукского городища

Выводы

Создание методологии работы с территориями, находящимися на археологических объектах культурного наследия, может дать новую жизнь парку и его дальнейшее развитие, путём привлечения Министерства культуры РФ для создания научно-исследовательского музея Семилукского городища. С помощью формирования нового многофункционального общественного пространства и проектирования уникальных нестационарных сооружений, органично вписывающихся в природную среду парка, можно сохранить исторический ландшафт и почвенный покров, в котором до сих пор находятся остатки древнейших времён. Такой объект может стать знаковым для города и области, который будет привлекать туристов и научного сообщества для исследования и дальнейшей музеефикации памятника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова С.К., Копосова Н.Н., Козлов А.В. Проблемы социально-экологического благоустройства территории населенных пунктов // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 6. С. 89.
2. Болтрушко В. Организация мероприятий по охране окружающей среды и осуществление экологического контроля в муниципальных образованиях и субъектах РФ // Городское управление. 2014. № 6. С. 85.
3. Воронин А.Г. Муниципальное хозяйство и управление: проблемы теории и практики. М.: Финансы и статистика, 2002. 176 с.
4. Гурьева Е.Ю. Благоустройство территорий сельских населенных пунктов // материалы VIII Междунар. студенч. науч.-практ. конф. «Научное сообщество студентов» (Чебоксары, 31 март 2016 г.) / ред. кол.: О. Н. Широков. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. С. 12–14.
5. Енин А.Е., Бокарева Е.А. Ретроспективный анализ планировочной структуры дорегулярных и регулярных планов исторических городов Черноземья (на примере Воронежской области) // Градостроительство. 2013. №2 (24). С. 60-66.
6. Енин А.Е., Ливенцева А.В. Обоснование эффективности применения системных принципов в формировании многофункциональных коммуникационных узлов городской среды // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 2(30). С. 114-121.

7. Елисеев Н.Ю. Охрана окружающей среды, как предмет муниципальной собственности // Государственное и местное самоуправление. 2004. № 6. С. 32.
8. Ефимов В., Честнов Ю. Социально-экономическая привлекательность российских городов: сравнительный анализ // Городское управление. 2003. № 11. С. 32.
9. Жигалов О.С., Прохорова И.А. Мировые практики в сфере благоустройства и озеленения территорий и опыт по благоустройству и озеленению г. Москвы // Материалы Ивановских чтений. 2017. №1(10). С. 119-125.
10. Осташенко М.С. Современные проблемы развития городских поселений // Молодой ученый. 2018. №16. С. 165-167.
11. Прягон А.Д. Археология...Наследие. Воронеж: Центр.-Черноземье. кн. изд-во, 1988. 183 с.
12. Разуваев Ю.Д. Семилюкское городище скифского времени в археологической историографии // Археологическое наследие. 2018. № 1. С. 31-41.
13. Саврасов А.С. Семилюкское поселение XII-XIII вв. в комплексе археологических памятников «Семилюкское городище» // FiloAziadne. 2018. №1. С. 11-16.
14. Уханов В.П., Хамитова С.М., Авдеев Ю.М. Экологический мониторинг состояния особо охраняемых природных территорий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 10 (121). С. 66-71.
15. Шевелёв В.П., Ступак Е.Ю. Время как основополагающий фактор развития городского пространства // Архитектурные исследования. 2017. № 4 (12). С. 58-62.
16. Приказ от 25 января 2017 года N 71-01-07/29 Об утверждении границ территории объекта культурного наследия федерального значения «Семилюкское (многослойное) городище» расположенного в г. Семилуки Семилюкского муниципального района.
17. Постановление правительства Воронежской области от 25 марта 2013 года № 222 о включения участка парка «Юбилейный» в г. Семилуки Семилюкского муниципального района в реестр особо охраняемых природных территорий Воронежской области.

REFERENCES

1. Bobkova S.K., Kozlov A.V. Problems of social and ecological improvement of the territory of settlements // International student scientific bulletin. 2015. No. 6. P. 89.
2. Boltrushko V. Organization of environmental protection measures and environmental control in municipalities and constituent entities of the Russian Federation // City Administration. 2014. No. 6. P. 85.
3. Voronin A.G. Municipal economy and management: problems of theory and practice. Moscow: Finance and Statistics, 2002. 176 p.
4. Gurieva E.Yu. Improvement of the territories of rural settlements // Materials of the VIII Intern. student scientific – practical. conf. "Scientific community of students" (Cheboksary, March 31, 2016) / ed. count.: O.N. Shirokov. Cheboksary: Central nervous system "Interactive plus", 2016. S. 12-14.
5. Enin A.E., Bokareva E.A. Retrospective analysis of the planning structure of pre-regular and regular plans of historical cities of the Chernozem region (on the example of the Voronezh region) // Urban planning. 2013. No. 2 (24). S. 60-66.
6. Enin A.E., Liventseva A.V. Justification of the effectiveness of the use of system principles in the formation of multifunctional communication nodes of the urban environment // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2013. No. 2 (30). S. 114-121.
7. Eliseev N.Yu. Environmental protection as a subject of municipal property // State and local government. 2004. No. 6. P. 32.
8. Efimov V., Chestnov Y. Socio-economic attractiveness of Russian cities: a comparative analysis // City government. 2003. No. 11. P. 32.
9. Zhigalov O.S., Prokhorova I.A. World practices in the field of landscaping and landscaping of territories and experience in landscaping and landscaping in Moscow // Materials of Ivanovskiye readings. 2017. No. 1 (10). S. 19-125.
10. Ostashchenko M.S. Modern problems of urban settlements development // Young scientist. 2018. No. 16. S. 165-167.
11. Pryakhon A.D. Archeology ... Heritage. Voronezh: Center-Chernozem.kn. publishing house, 1988. 183 p.
12. Razuvaev Yu.D. Semiluki settlement of the Scythian time in archaeological historiography // Archaeological heritage. 2018. No. 1. S. 31-41.
13. Savrasov A.S. Semilukskoe settlement XII-XIII centuries. in the complex of archaeological sites "Semiluki settlement" // Filo Aziadne. 2018. № 1. S. 11-16.
14. U Khanov V.P., Khamitova S.M., Avdeev Yu.M. Ecological monitoring of the state of specially protected natural areas // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2016. No. 10 (121). S. 66-71.

15. Shevelev V.P., Stupak E.Yu. Time as a fundamental factor in the development of urban space // Architectural research. 2017. No. 4 (12). S. 58-62.
16. Order of January 25, 2017 N 71-01-07 / 29 On the approval of the boundaries of the territory of the cultural heritage site of federal significance "Semilukskoye (multilayer) settlement" located in the city of Semiluki, Semiluki municipal district.
17. Decree of the Government of the Voronezh Region of March 25, 2013 No 222 on the inclusion of the site of the park «Jubilee» in Semiluki, Semiluki Municipal District, in the register of specially protected natural areas of the Voronezh Region.

Информация об авторах:

Енин Александр Егорович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия,
кандидат архитектуры, профессор, зав. кафедрой основ проектирования и архитектурной графики.
E-mail: a_yenin@mail.ru

Щеблыкина-Монастырёва Элеанора Игоревна

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия,
аспирант, ассистент кафедры основ проектирования и архитектурной графики.
E-mail: el.stepan@mail.ru

Information about authors:

Enin Alexander E.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia,
phd in architecture, professor, head. department of design basics and architectural graphics.
E-mail: a_yenin@mail.ru

Shcheblykina-Monastyreva Eleanora I.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia,
postgraduate student, assistant at the department of design basics and architectural graphics.
E-mail: el.stepan@mail.ru

В.А. ИЛЬИЧЕВ^{1,3}, В.И. КОЛЧУНОВ^{2,3}, Н.В. БАКАЕВА³

¹Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ВОПРОСЫ КОМФОРТНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И ИХ РЕШЕНИЕ В РАМКАХ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Аннотация. Рассмотрены основные законодательные акты и нормативные документы в области комфортной и безопасной городской среды. Приведен анализ требований технического регулирования, содержащихся в актуальных на сегодняшний день правовых и нормативных документах в Российской Федерации по обеспечению безопасности и созданию комфортных условий проживания. Проведенный анализ показал острую необходимость построения новой концептуальной модели и расчетного обоснования новых нормируемых параметров в предметной области комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города. Анализ также выявил необходимость совершенствования методологии оценки состояния городской среды, например, с позиции симбиотического встраивания города в природную среду и создания условий для развития человека. Методологической основой исследования явилась новая парадигма жизнедеятельности – биосферосовместимых городов и поселений, развивающих человека. На принципах парадигмы биосферной совместимости выполнена систематизация и проведено упорядочивание многообразия действующих нормативных документов, тем самым определены отдельные вопросы нормирования, например, интегральной оценки уровня комфортности городской среды, которые сегодня не регламентированы нормативной базой, но являются острыми и активно обсуждаются профессиональным сообществом. Результаты исследований могут быть использованы при разработке свода правил «Комфортная и безопасная среда жизнедеятельности города. Основные положения».

Ключевые слова: среда жизнедеятельности города, законодательные и нормативные требования, нормативные документы, нормируемые параметры, уровень комфортности, уровень безопасности, принципы симбиоза градостроительных систем и их естественно-природного окружения.

V.A. ILYICHEV^{1,3}, V.I. KOLCHUNOV^{2,3}, N.V. BAKAEVA³

¹Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN), Moscow, Russia

²Southwest State University", Kursk, Russia

³Moscow State University of Civil Engineering, (National Research University), Moscow, Russia,

ISSUES OF COMFORT AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT AND THEIR SOLUTION WITHIN THE FRAMEWORK OF LEGISLATIVE AND REGULATORY DOCUMENTS

Abstract. The main legislative acts and normative documents in the field of comfortable and safe urban environment are considered. The analysis of the requirements of technical regulation contained in the current legal and regulatory documents in the Russian Federation to ensure safety and create comfortable living conditions is presented. The conducted analysis showed the urgent need to build a new conceptual model and the calculation justification of new normalized parameters in the subject area of a comfortable and safe living environment of the city. The analysis also revealed the need to improve the methodology for assessing the state of the urban environment, for example, from the point of view of symbiotic integration of the city into the natural environment and creating conditions for human development. The methodological basis of the study was the paradigm of life

activity – biosphere-compatible cities and settlements that develop people. Based on the principles of the biosphere compatibility paradigm, a systematization and ordering of the variety of existing regulatory documents was carried out, thereby identifying certain issues of rationing, for example, the level of comfort of the urban environment, which today are not regulated by the regulatory framework, but are acute and actively discussed by the professional community. The results of the research can be used in the development of the set of rules " Comfortable and safe living environment of the city. Basic provisions".

Keywords: *city life environment, legislative and regulatory requirements, regulatory documents, normalized parameters, comfort level, safety level, principles of symbiosis of urban planning systems and their natural environment.*

Введение

Создание комфортной и безопасной городской среды является одной из важнейших стратегических целей и задач государства, которые определены Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 года №474 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2030 года» в целях осуществления прорывного научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации, увеличения численности населения страны, повышения уровня жизни граждан и обеспечения их социальных гарантий. В соответствии с этим документом в ближайшей перспективе необходимо обеспечить кардинальное повышение комфортности городской среды и индекса ее качества, а также сокращение количества городов с неблагоприятной средой жизнедеятельности. В связи с чем, в 2019 году сформулированы и одобрены предложения Минстроя России по национальному проекту «Жилье и городская среда» и государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» (Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2017 года № 1710 с изменениями на 21 апреля 2020 года № 339).

В настоящее время активно обсуждаются итоги реализации мероприятий проекта и программы, частью которых являются отдельные меры по совершенствованию технического регулирования в строительной сфере и градостроительстве. Так, комплекс мероприятий вышеназванной программы предусматривает определение нормируемых параметров, содержащихся в нормативных технических документах по приоритетным для государства направлениям в целях формирования научной базы разработки, актуализации и гармонизации с международными нормами нормативных технических документов по проектированию и строительству. Таким образом, мероприятия по совершенствованию технического регулирования в строительной сфере и проектно-градостроительной деятельности возведены в ранг приоритетных [1].

Вместе с предлагаемыми механизмами формирования комфортной городской среды, комплексного развития городов и других населенных пунктов в составе различного рода программ и проектов, следует отметить, что действующие в настоящее время законодательная база и нормативные технические документы технического регулирования в явном виде не содержат четкого и однозначного ответа на вопрос, какие требования архитектурно-строительного и градостроительного проектирования смогут обеспечить комфортные и безопасные поселения? Это связано с тем, что законодательные и нормативные документы в России большей частью базируются на результатах научных исследований, выполненных в 60-70-е годы прошлого столетия, что свидетельствует об актуальности дальнейшего их совершенствования и развития [2]. Кроме того, на сегодняшний день большинство известных методов оценки состояния среды жизнедеятельности являются обособленными, констатирующими произошедшие явления, а не направленными на их предупреждение [3]. Например, Методика формирования индекса качества городской среды (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 г. № 510-р) включает в себя лишь отдельные параметры измерения благоустроенности

муниципальных образований, индикаторы доступности городской среды для маломобильных групп населения и показатели цифровизации отдельных отраслей городского хозяйства, но никак не отражает комплексный и системный характер процессов жизнедеятельности.

Целью исследования является анализ концептуально-методологических подходов к обеспечению безопасности и комфортности среды жизнедеятельности города и созданию нормативных технических документов в архитектурно-строительном и градостроительном проектировании.

Анализ публикаций по теме исследования. Рассмотрим выработанные к настоящему времени и получившие распространение среди научного сообщества концепции обеспечения безопасности и комфортности среды жизнедеятельности города и теоретические основы создания нормативных технических документов в области безопасной и комфортной городской среды, поскольку они определяют конечный результат технического регулирования качества жизни.

Комфортность жизни человека в городе отражает степень удовлетворения его материальных, культурных и духовных потребностей. Комфортность можно измерять с учетом особенностей городского образа жизни, используя набор объективных показателей, например, возможность устроиться на работу, наличие дискриминации, информационная открытость, веротерпимость, конфликтность, социальная напряженность, культура населения, возможность получить образование, возможность реализовывать свои интересы и вести бизнес, объективность городских СМИ, доверие к органам городской власти, возможность участвовать в решении городских проблем и другое [4].

Терминология «комфортная среда жизнедеятельности города» на сегодняшний день не определена ни в одном из действующих нормативных документов в строительстве и в градостроительстве. Наиболее близко отражено содержание этого термина в работе Кузьмина А.В. [5]. Им в соавторстве Г.С. Юсиным предложен научно-обоснованный подход к созданию национальной системы градостроительных и архитектурно-строительных стандартов и нормативов качества пространственной среды, а также отмечены существенные признаки пространственной среды, влияющие на ее восприятие и оценку как комфортной или дискомфортной.

Научный поиск решений по формированию комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города и характеристики ее состояния встречаются в работах Тетиора А.Н. [6], Чистяковой С.Б. [7], Шубенкова М.В. [8], Теличенко В.И. и Щербины Е.В. [9] и других исследователей. По мнению И.П. Прядко и З.И. Ивановой, современный город должен удовлетворять в полной мере не только биологические, но и социальные, и духовные потребности [10]. Градостроительной теории обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности в городах придерживаются и зарубежные исследователи Ф. Гомес [11], Х. Бартон и М. Грант [12], Я. Гейл [13] и другие, которые к основным показателям комфорта относят следующие: температурный комфорт, уровень акустического загрязнения, аэрационный режим, инсоляцию, степень озеленения. Многие зарубежные исследования в странах Европы, США, Японии, Китая, посвященные данному вопросу, основной упор делают на использование альтернативных источников энергии и полную утилизацию возникающих отходов.

В целом, в зарубежных исследованиях вопросы восстановления качества жизни человека, обеспечения безопасности его жизнедеятельности, комплексной безопасности урбанизированных территорий нашли отражение в ряде теоретических концепций, прежде всего, устойчивого развития (*англ.* Sustainable Development), которым посвящено большое количество исследований во всем мире, и которые признают эту проблему крайне насущной. Помимо крупных общественных международных организаций, таких как ООН, ВОЗ ООН, Глобальный экологический фонд (ГЭФ), межгосударственный совет стран СНГ и другие, проблемой обеспечения безопасности занимаются крупные научные школы Европы: [Oxford](#)

[Brookes University](#) – Оксфорд, [University of Huddersfield](#) – Хаддерсфилд и другие, общественные организации – Римский клуб, Зеленый патруль и другие.

Фундаментальные исследования, проводимые в Российской академии архитектуры и строительных наук под руководством академика Ильичева В.А., посвящены проблеме гармонизации жизнедеятельности человека и его архитектурно-пространственного окружения, построению моделей симбиотического развития общества и природы для целей комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города [14]. Сегодня это научное направление становится той междисциплинарной областью исследований, которая может многократно повысить эффективность результатов практически во всех других направлениях фундаментальной и прикладной науки в результате системной интеграции исследований ученых и усилий специалистов из России и разных стран мира.

Для раскрытия целей и задач по созданию комфортных условий проживания и обеспечению безопасности среды жизнедеятельности города обратимся к анализу требований, содержащихся в различного рода правовых, нормативных и методических документах, а также в разработанных в последнее время стандартах качества проживания.

Законодательные требования в области комфортной и безопасной городской среды

Основные нормы и правила регулирования градостроительной деятельности в Российской Федерации устанавливает Федеральный закон от 24.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (далее – Градостроительный кодекс Российской Федерации). Одним из основных принципов Градостроительного кодекса Российской Федерации, который указан в статье 7, является создание благоприятной среды жизнедеятельности, право на которую имеет каждый гражданин нашей страны. Кроме того, в статье 2 говорится об осуществлении градостроительной деятельности применительно к недвижимым имущественным элементам и комплексам с соблюдением требований технических регламентов – законодательных актов, устанавливающих обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования. Объектами технического регулирования являются здания и сооружения любого назначения, а также связанные со зданиями и с сооружениями процессы проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации.

Особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений установлены Федеральным законом от 30.12.2010 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (далее – Технический регламент о безопасности зданий и сооружений). Постановлением Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 года № 985 утверждён перечень стандартов и сводов правил в области строительства, в котором содержатся части четырёх национальных стандартов и 78 сводов правил, предназначенных для обеспечения соблюдения требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений на обязательной основе. Росстандартом (Приказ от 2 апреля 2020 года № 687) утверждён перечень из 163 национальных стандартов и 370 сводов правил в строительстве (актуализированных и неактуализированных), предназначенных для обеспечения требований указанного технического регламента на добровольной основе [15].

Градостроительный кодекс Российской Федерации в его действующей редакции содержит ряд положений по оценке соответствия среды жизнедеятельности в рамках предъявляемых нормативных требований безопасности и устойчивого развития территорий.

Правовое регулирование порядка использования и охраны земельных участков в населенных пунктах осуществляется посредством установления в Земельном кодексе Российской Федерации предпосылок проведения градостроительного зонирования, которое в ст. 1 Градостроительного кодекса определяется как зонирование территорий муниципальных образований в целях определения территориальных зон и установления градостроительных регламентов. Документом градостроительного зонирования являются Правила

землепользования и застройки, утверждаемые нормативными актами органов местного самоуправления

В тоже время ни Градостроительный кодекс Российской Федерации, ни Земельный кодекс Российской Федерации не гармонизированы с требованиями Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, тем самым, не решает важную задачу – определения суммарных существующих и планируемых воздействий на среду жизнедеятельности и сопоставления их со средостабилизирующими возможностями окружающей среды [16]. Очевидно, что представляется необходимым дополнить общие требования Градостроительного кодекса Российской Федерации и Технического регламента о безопасности зданий и сооружений конкретными техническими требованиями, выполнение которых на обязательной основе позволит обеспечить взаимную согласованность действующих законодательных и нормативных технических документов в сфере строительства и градостроительства [17].

Нормативные требования в области комфортной и безопасной городской среды

Особое место в сложившейся ситуации имеет нормативная база в градостроительстве и строительстве. В градостроительстве нормативная база традиционно состоит из двух блоков: норм и правил планировочной организации застройки населенных пунктов. В строительстве – это нормы архитектурно-строительного проектирования зданий и сооружений. Если нормы планировочной организации оперируют двумя видами показателей: обеспеченностью и доступностью, то архитектурно-строительные нормы содержат минимально необходимые требования, в том числе к отдельным видам безопасности зданий и сооружений: механической; пожарной; безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях; безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях; безопасности для пользователей зданиями и сооружениями; доступности зданий и сооружений для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения; энергетической эффективности зданий и сооружений; безопасного уровня воздействий зданий и сооружений на окружающую среду в процессе строительства, использования по назначению и эксплуатации.

В настоящей работе выполним анализ требований, содержащихся в нормативных технических документах в строительстве и градостроительстве, а инструментом анализа послужат общие принципы концепции преобразования городов в биосферосовместимые и развивающие человека. Эти принципы разработаны в РААСН и наиболее полно отвечают целям обеспечения безопасности среды жизнедеятельности города в следующем контексте:

- принцип оценки уровня экологической безопасности, ресурсосбережения и уровня защищенности от техногенного воздействия при сопоставлении направлений в деятельности города;

- принцип гуманитарного баланса биотехносферы урбанизированных территорий;

- принцип реализуемости функций города и проектирования необходимой инфраструктуры для целей создания благоприятной среды жизнедеятельности;

- принцип обеспечения уровня территориальной, временной и персональной доступности объектов инфраструктуры различным категориям населения для целей создания благоприятной среды жизнедеятельности;

- принцип социальных стандартов для обеспечения уровня комфортности.

Принцип оценки уровня экологической безопасности, ресурсосбережения и уровня защищенности от техногенного воздействия реализуется группой сводов правил в строительстве, в которых должны выполняться обязательные требования при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий различного назначения, планировке и застройке городских и сельских поселений с целью защиты от шума, от опасных геологических процессов, избытка солнечной энергии, различных источников негативного

воздействия на среду обитания и здоровье человека, от параметрических воздействий, от ионизирующего излучения и другого.

Преимущественно, этому принципу соответствует нормативно-правовая база в сфере экологического регулирования и количественной оценки возможного градационного или деградационного развития территории, которая находится на данный момент в неудовлетворительном состоянии. Проблема заключается не только в количестве требований и нормативов, но и в их организации – многие требования и нормы построены на многоступенчатых отсылках, часто противоречащих друг другу. В настоящее время требования в области экологической безопасности среды жизнедеятельности города разделены по ведомственным сферам, «разнокалиберны» по масштабу и по своей компоновке ориентированы скорее на удобство их разработки и принятия, нежели на выполнение ответственного контроля. Тем более, что в большинстве регионов нашей страны сохраняется сложная экологическая обстановка, значительным образом влияющая на качество жизни населения [18].

Вопросам *биоклиматической комфортности городской среды, микроклимата помещений и городского пространства* посвящена большая группа норм, в частности, СП 131.13330.2012. «Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*», СанПиН 2.1.2/2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях" (с изменениями на 27 декабря 2010 года)», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» и другие.

Одновременно с процессом своевременной актуализации нормативных документов следует отметить, что содержащиеся в ряде отечественных документов нормативные требования по созданию комфортных условий жизнедеятельности устарели. Например, в соответствие с требованиями санитарно-гигиенических норм необходимая продолжительность инсоляции зданий (жилых, лечебных, детских учреждений) обеспечивается обычно архитектурно-планировочными средствами на основе нормативных требований в том, чтобы солнце проникало в помещение в любое время года. В действующем СП 131.13330.2012. «Строительная климатология» для различных климатических районов приведены секторы горизонта, неблагоприятные по ориентации, и применительно к жилым зданиям указывается, сколько комнат в квартирах разных типов допускается ориентировать на эти секторы; наряду с этим в нормах регламентируются минимально допускаемые разрывы между зданиями. Однако в практических случаях требования норм не обеспечивают необходимой продолжительности инсоляции жилых зданий, особенно в средних и северных районах, где жилые помещения должны получать большее количество солнечной радиации. Методы расчета продолжительности инсоляции и расчета солнечной активности с использованием солнечных карт нашли отражение в государственном стандарте ГОСТ Р 57795-2017 «Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции» и на сегодня позволяют не только установить продолжительность инсоляции в течение всего года для расчетной точки, но и позволяют моделировать форму световых проемов и солнцезащитных устройств.

Для обеспечения нормативных требований по защите от солнечной радиации и естественному освещению в помещениях различного назначения в 2017 году разработан свод правил СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования», который определяет основные типы солнцезащитных устройств по их местоположению, конструктивным особенностям, материалам изготовления и способам регулирования.

Принцип реализуемости функций города и проектирования необходимой инфраструктуры для целей создания благоприятной среды жизнедеятельности. В соответствии с этим принципом требования большой группы нормативных документов

предъявляются преимущественно к вновь строящимся, реконструируемым и капитально ремонтируемым жилым зданиям и объектам транспортной, социальной и инженерной инфраструктуры:

- автомобильным дорогам общего пользования и ведомственным автомобильным дорогам;
- зданиям, сооружениям, площадкам и помещениям, предназначенным для стоянки (хранения) автомобилей;
- общественным зданиям и сооружениям;
- многофункциональным зданиям;
- зданиям и помещениям медицинских организаций;
- зданиям дошкольных и общеобразовательных образовательных организаций;
- инженерным сетям.

Нормативным документом всеобщего применения, в котором установлены общие принципы градостроительного проектирования, является СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция **СНиП 2.07.01-89**». Данный свод правил направлен на обеспечение градостроительными средствами безопасности и устойчивости развития муниципальных образований, охрану здоровья населения, рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды, сохранение памятников истории и культуры, защиту территорий поселений от неблагоприятных воздействий природного и техногенного характера, а также на создание условий для реализации определенных законодательством Российской Федерации социальных гарантий граждан, включая маломобильные группы населения (МГН), в части обеспечения объектами социального и культурно-бытового обслуживания, инженерной и транспортной инфраструктуры и благоустройства.

Содержащиеся в СП 42.13330.2016 социальные гарантии по созданию комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города заключаются в предельных (минимальных или максимальных) *показателях обеспеченности и доступности* жизненно необходимых и социально значимых объектов для удовлетворения потребностей населения в таких объектах, которые уточняются и дополняются на региональном и муниципальном уровнях.

Реализации разнообразных функций города, помимо СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция **СНиП 2.07.01-89**», способствуют и другие своды правил в строительстве, в числе которых: СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция **СНиП 31-01-2003**», СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования», СП 118.13330.2012* «Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция **СНиП 31-06-2009** (с Изменениями N 1, 2), СП 160.1325800.2014 «Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования» и многие другие.

Рассосредоточенность по нескольким сферам законодательства является особенностью нормативного технического регулирования в области озеленения городов. Так, мероприятия по улучшению качества городской среды регламентирует СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий. Актуализированная редакция **СНиП III-10-75**», устанавливающий принципы формирования придомовой территории с выделением рекреационной зоны, детской площадки, зоны активного отдыха, а также принципы озеленения. Требования названного свода правил в градостроительстве дополняются санитарно-гигиеническими нормами и правилами благоустройства и содержания территории (ПБиСТ), вследствие чего озеленению придается многофункциональность: от санитарно-гигиенической роли до роли ландшафтно-архитектурных ансамблей и создания рекреационных зон.

Принцип обеспечения уровня территориальной, временной и персональной доступности объектов инфраструктуры различным категориям населения. Создание условий беспрепятственного доступа к объектам социальной, инженерной и транспортной инфраструктур (жилым, общественным и производственным зданиям, строениям и сооружениям, включая те, в которых расположены физкультурно-спортивные организации, организации культуры и другие организации), к местам отдыха и к предоставляемым в них услугам обеспечивается требованием *доступности* (раздел 3.СП 42 13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89»).

Акцент на обеспечение персональной доступности отдельным категориям населения, в частности наименее социально защищенной категории – маломобильной группе населения, сделан в СП 59.13330.2012 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001». Требования и рекомендации этого нормативного документа по критерию «доступности» направлены на создание полноценной архитектурной среды, обеспечивающей необходимый уровень доступности зданий и сооружений для всех категорий маломобильных групп населения и беспрепятственное пользование ими.

Принцип социальных стандартов для обеспечения уровня комфортности среды жизнедеятельности на сегодняшний день не отражен в нормативных документах: номенклатуру *социальных стандартов и стандартов качества жизни* только предстоит разработать и законодательно утвердить. В этих стандартах следует отразить в качестве нормируемых индикаторов показатели оценки социальной напряженности, морального климата, то, что называется «земное счастье» – семейное благополучие, рождение детей и другие данные о социальном положении по регионам (браки и рождаемость, распространенность девиантного поведения вследствие алкоголя и наркотиков, продолжительность жизни), качество рабочей силы, фактическая оценка человеческого потенциала и другое. Целью градостроительного планирования должно стать решение именно социальных проблем, иначе эти проблемы могут приобрести угрожающий характер, перерастая не только в уличную преступность, но и в межэтнические конфликты, распространение экстремистских идей, терроризм. Отсутствие социальных стандартов в градостроительстве может способствовать образованию анклавов и гетто «спальных районов» с присущей им социальной апатией и отчуждением, кварталов трущоб с деградирующим населением и повышенным уровнем агрессии по отношению к окружающей городской среде и горожанам. Эта агрессия в отсутствие градостроительных регламентов замешана, прежде всего, на социальных факторах, таких как неустроенность и неудовлетворённость условиями жизни [19].

Высказанные соображения о необходимости включения в нормативные документы в качестве нормируемых социальных стандартов качества жизни подкрепляются еще тем, что сегодня в Российской Федерации по данным статистической отчетности социальная инфраструктура в существенной мере определяет уровень и качество жизни населения [20]. В настоящее время идет обсуждение и вырабатывается концепция численной оценки такого показателя как «[Валовое Национальное Счастье](#) (ВНС)» – попытка определить жизненный стандарт через психологические и холистические ценности человечества*. В итоге должен появиться документ, содержащий количественные и качественные характеристики, конкретизирующие социальные нормы жизни рекомендательного и обязательного характера.

В результате проведенного анализа законодательных и нормативных документов в строительстве и градостроительстве была выполнена их систематизация по критерию содержащихся в них требований к комфортности и безопасности среды жизнедеятельности города. Схематично иерархия законодательных, нормативных технических, методических и

* По материалам: [\[https://ru.wikipedia.org/wiki/Индекс человеческого развития\]](https://ru.wikipedia.org/wiki/Индекс_человеческого_развития)

других руководящих документов по созданию комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города представлена на рисунке 1.

Как показал анализ основных положений сводов правил в градостроительстве и строительстве, в настоящее время требование комфортности к проектированию различных элементов планировочной структуры города (района, квартала, территории общего пользования, жилых зданий и др.) не отражено ни в одном из действующих нормативных документов. Это свидетельствует об актуальности совершенствования методологии нормативных документов на качественно новой мировоззренческой основе и увязки нормативов градостроительного проектирования с нормативами архитектурно-строительного проектирования объектов недвижимости.

В РААСН ведется разработка нормативного документа нового поколения – свода правил в градостроительстве «Комфортная и безопасная среда жизнедеятельности. Основные положения», обеспечивающие комфортные условия проживания и безопасность населения на принципах гармонизации природы, общества и человека. В составе свода правил будут рассмотрены требования к расчетным критериям оценки планировочных решений жилых кварталов, связанных с показателями природно-антропогенной совместимости территорий на основе баланса биотехносферы, доступности объектов жизнеобеспечения и социально значимых объектов всем категориям населения жилых кварталов, а также будут предложены расчётные параметры обеспеченности объектами проектирования в разрезе элементов планировочной структуры города (от жилой зоны квартала до целого микрорайона) через реализацию его функций: Жизнеобеспечение, Развлечения и отдых, Власть, Милосердие, Знания, Творчество, Связь с Природой.

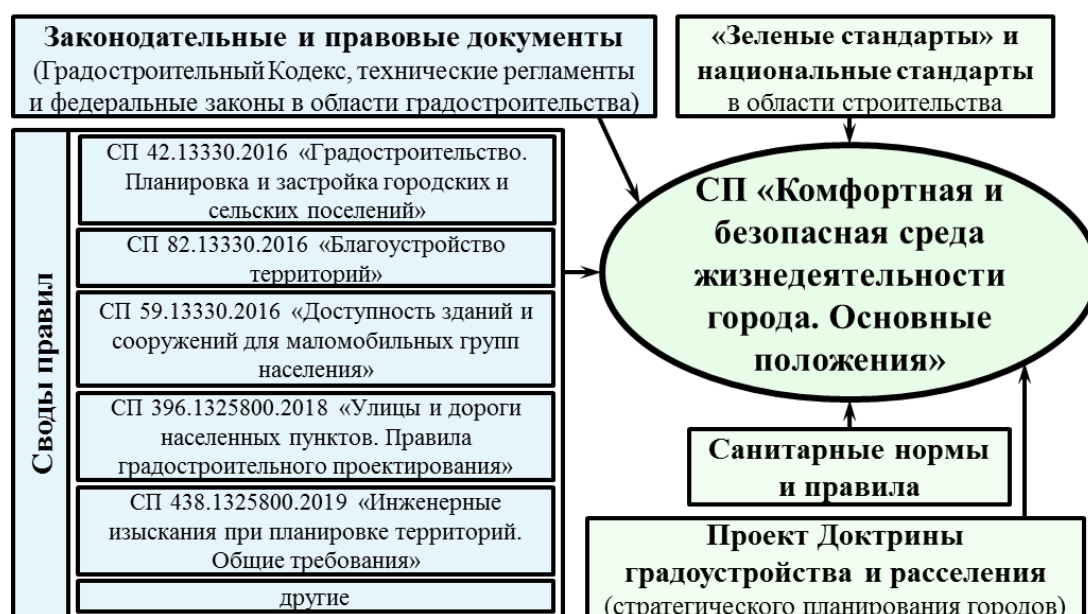


Рисунок 1 – Схема иерархии законодательных, нормативных технических, методических и других руководящих документов по созданию комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города

Применение предлагаемого свода правил в градостроительстве даст проектировщику механизм оценки проектных решений, сравнения их вариантов при проектировании, а также позволит повысить качество и эффективность выполняемых проектных работ за счет использования научно обоснованных оценочных характеристик среды жизнедеятельности. Это обеспечит принятие квалифицированных управленческих решений в области существующего и проектного использования территории и проведения независимых экспертных оценок градостроительных ситуаций.

Выводы

В настоящее время действующие законодательные и нормативные документы не содержат четкого и однозначного ответа на вопрос, как необходимо создавать комфортную и обеспечивать безопасную городскую среду. В этой связи, представленный анализ современных законодательных и нормативных требований позволяет сделать вывод о том, что единая система технических регламентов в области строительства и градостроительной деятельности в настоящее время не сформирована, неясной остается даже ее общая структура и идеология, совокупность действующих нормативных документов отличается неполнота и противоречивость дублирующих друг друга документов, порожденных в разных ведомствах.

Существующее многообразие нормативно-правовых документов, касающихся обеспечения безопасности и комфортности городской среды, в настоящий момент не способно упорядочить работу проектировщиков, настроить их на принятие инновационных управленческих проектных решений, учесть интересы всех слоев населения городов и увязать все этапы проектно-градостроительной деятельности с нормативными требованиями.

Очевидна необходимость кардинальной смены традиционной парадигмы формирования и развития городов. С одной стороны, современные города уже не могут существовать в рамках замкнутых систем со своим окружением и выстраиваются в сложные групповые системы (агломерации, конурбации), а с другой стороны, диктат урбанизированных территорий над природными не может продолжаться, поскольку это грозит существованию самих городов как потребителей природных ресурсов и всецело зависящих от них. Необходим поиск симбиоза искусственной городской среды и естественной природной среды.

Результаты проведенных исследований в части анализа требований, содержащихся в действующих нормативных документах, могут быть использованы при разработке будущего свода правил в градостроительстве «Комфортная и безопасная среда жизнедеятельности города. Основные положения». Прежде всего, этот документ должен уточнить и раскрыть терминологию в области комфортности и безопасности среды жизнедеятельности, которая должны быть подчинена идеи преемственности и согласованности требований в различных группах документов. Свод правил будет раскрывать методологию оценки состояния среды жизнедеятельности и обоснование качественных и количественных ее характеристик на принципах симбиоза градостроительных систем и их естественно-природного окружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов А.В. Техническое регулирование и стандартизация в строительстве // Жилищное строительство. 2019. №1-2. С. 3-7.
2. Митягин С.Д. Теоретико-методологические задачи совершенствования проектно-градостроительной деятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С.43-46.
3. Ильина И.Н., Бойкова М.В., Салазкин М.Г. Будущее городов: города как агенты глобализации и инноваций // Форсайт. 2014. Т. 5. С. 32-38.
4. Сухушина Е.В., Рыкун А.Ю., Погодаев Н.П. Городское пространство – опыт исследования // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2014. №1 (25). С.84-98.
5. Кузьмин А.В., Юсин Г.С. Качество жизни и качество пространственной среды - социальные стандарты и нормативы в градостроительстве, архитектуре, строительстве // Градостроительство. 2011. №4(14). С. 16-20.
6. Тетиор А.Н. Урбоэкологическая концепция России в условиях кризисного развития мира // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 13-16.
7. Чистякова С.Б. Экологические аспекты регулирования градостроительной деятельностью // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 4. С. 31-35.
8. Шубенков М.В., Шубенкова М.Ю. Новые подходы к описанию биотехносферных взаимодействий урбанизированных и природных сред // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2020. № 3(31). С.3-11.
9. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5-10.

10. Прядко И.П., Иванова З.И. Биосферные и социальные процессы в аспекте формирования дизайна городской среды // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С.12-17.
11. Gómez F. et. al. Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces: criteria for urban planning // *The Sustainable City*. 2008. V. P. 151-163.
12. Barton H., Grant M. Urban Planning for Healthy Cities. A Review of the Progress of the European Healthy Cities Programme // *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. 2011. Vol. 90. Suppl.
13. Гейл Ян. Города для людей: перевод с англ. М.: Крост. 2012. 276 с.
14. Ильичев В.А., Каримов А.М., Колчунов В.И., Алексашина В.В., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Предложения к Доктрине градоустройства и расселения (стратегического планирования городов) // *Жилищное строительство*. 2012. №1. С.2-11.
15. Травуш В.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 46-53.
16. Бакаева Н.В., Черняева И.В. К задачам нормирования комфортности и безопасности среды жизнедеятельности города // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 1 (87). С. 101-112.
17. Герцберг Л.Я. Настоящее и будущее Градостроительного Кодекса Российской Федерации // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 2. С. 97-101.
18. Шевцов П.А. Экологическая обстановка – качество жизни населения // *Экономика и управление*. 2011. № 10 (83). С. 82-87.
19. Вершинина И.А. Особенности социальных отношений в больших городах // *Социология города*. 2019. № 3. С. 17-29.
20. Михеев Д.В. Состояние нормативной базы технического регулирования строительства и задачи ее развития // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 3-8.

REFERENCES

1. Basov A.V. Tekhnicheskoe regulirovanie i standartizaciya v stroitel'stve [Technical regulation and standardization in construction] // *Housing construction*. 2019. No. 1-2. Pp. 3-7. (rus)
2. Mityagin S.D. Teoretiko-Metodologicheskie zadachi sovershenstvovaniya proektno-gradostroitel'noy deyatel'nosti [Theoretical and methodological problems of improving design and urban planning activities] // *Industrial and civil engineering*. 2020. No. 1. Pp. 43-46. (rus)
3. Piyina I.N., Boikova M.V., Salazkin M.G. Budushchee gorodov: goroda kak agenty globalizatsii i innovatsij [The Future of cities: cities as agents of globalization and innovation] // *Foresight*. 2014. Vol. 5. 4. Pp. 32-38. (rus)
4. Sukhushina E.V., Rykun A.Yu., Pogodaev N.P. Gorodskoe prostranstvo – opyt issledovaniya [Urban space-research experience] // *Bulletin of Tomsk state University. Philosophy. Sociology. Political science*. 2014. №1 (25). Pp. 84-98. (rus)
5. Kuzmin A.V., Yusin G.S. Kachestvo zhizni i kachestvo prostranstvennoj sredy - social'nye standarty i normativy v gradostroitel'stve, arhitekture, stroitel'stve [Quality of life and quality of the spatial environment, social standards and regulations in urban planning, architecture, construction engineering] // *Urban planning*. 2011. №4 (14). Pp. 16-20.
6. Tetior A.N. Urboekologicheskaya koncepciya Rossii v usloviyah krizisnogo razvitiya mira [Urban ecology the concept of Russia in the conditions of crisis development of the world] // *Housing construction*. 2013. No. 1. Pp. 13-16. (rus)
7. Chistyakova S.B. Ekologicheskie aspekty regulirovaniya gradostroitel'noj deyatel'nost'yu [Ecological aspects of regulation of urban development activities] // *Academia. Architecture and construction*. 2009. No. 4. Pp. 31-35. (rus)
8. Shubenkov M.V., Shubenkova M.Yu. Novye podhody k opisaniyu biotekhnosfernykh vzaimodeystvij urbanizirovannykh i prirodnykh sred [New approaches to the description of biotechnospheric interactions of urban and natural environments] // *Biosphere compatibility: man, region, technologies*. - 2020. – № 3(31). – Pp. 3-11. (rus)
9. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social'no-prirodno-tekhnogennaya sistema ustojchivoj sredy zhiznedeyatel'nosti [Social-natural-technogenic system of sustainable environment of life-activity] // *Industrial and civil construction*. 2019. No. 6. Pp. 5-10. (rus)
10. Pryadko I.P., Ivanova Z.I. Biosfernye i social'nye processy v aspekte formirovaniya dizajna gorodskoj sredy [Biosphere and social processes in the aspect of urban environment design formation] // *Industrial and civil construction*. 2017. No. 10. Pp. 12-17. (rus)
11. Gómez F. et. al. Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces: criteria for urban planning // *The Sustainable City*. 2008. Pp. 151-163.
12. Barton H., Grant M. Urban Planning for Healthy Cities. A Review of the Progress of the European Healthy Cities Programme // *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. 2011. Vol. 90. Suppl.
13. Gale Jan. Cities for people: translated from English-Moscow: Krost. 2012. 276 p.

14. Il'ichev V.A., Karimov A.M., Kolchunov V.I., Aleksashina V.V., Bakayeva N.V., Kobeleva S.A. Predlozheniya k Doktrine gradoustrojstva i rasseleniya (strategicheskogo planirovaniya gorodov) [Suggestions to the Doctrine of physical planning and resettlement (strategic planning)] // *Housing construction*. 2012. No. 1. Pp. 2-11. (rus)
15. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leontiev E.V. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya v ramkah zakonodatel'nyh i normativnyh trebovanij [Protection of buildings and structures from the progressive collapse in the legislative and regulatory requirements] // *Industrial and civil construction*. 2019. No. 2. Pp. 46-53. (rus)
16. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. K zadacham normirovaniya komfortnosti i bezopasnosti sredy zhiznedeystel'nosti goroda [To the tasks of normalizing the comfort and safety of the city's living environment] // *Construction and reconstruction*. 2020. № 1 (87). Pp. 101-112. (rus)
17. Herzerg L.Ya. Nastoyashchee i budushchee Gradostroitel'nogo Kodeksa Rossijskoj Federacii [Present and future of the town-Planning Code of the Russian Federation] // *Academia.Architecture and construction*. 2015. No. 2. Pp. 97-101. (rus)
18. Shevtsov P.A. Ekologicheskaya obstanovka – kachestvo zhizni naseleniya [Ecological situation – quality of life of the population] // *Economics and management*. 2011. № 10 (83). Pp. 82-87. (rus)
19. Vershinina I.A. Osobennosti social'nyh otnoshenij v bol'shih gorodah [Features of social relations in big cities] // *Sociology of the city*. 2019. No. 3. Pp. 17-29. (rus)
20. Mikheev D.V. Sostoyanie normativnoj bazy tekhnicheskogo regulirovaniya stroitel'stva i zadachi ee razvitiya [State of the regulatory framework for technical regulation of construction and the tasks of its development] // *Housing construction*. 2016. No. 6. Pp. 3-8. (rus)

Информация об авторах:

Ильичев Вячеслав Александрович

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва, Россия,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
академик РААСН, доктор технических наук, профессор, вице-президент РААСН по направлению «Инновации».
E-mail: ilyichev@raasn.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой уникальных зданий и сооружений,
ФГБОУ ВО " Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: asiorel@mail.ru

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
советник РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства.
E-mail: natbak@mail.ru

Information about authors:

Ilyichev Vyacheslav Al.

Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN), Moscow, Russia,
Moscow State University of Civil Engineering, (National Research University), Moscow, Russia,
academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-President of the RAASN for Innovation.
E-mail: ilyichev@raasn.ru

Kolchunov Vitaliy Iv.

South-West State University, Kursk, Russia,
academician of RAACS, Doctor of Engineering, professor, head of the department of unique building and structures,
Moscow State University of Civil Engineering, (National Research University), Moscow, Russia,
professor of the department of reinforced concrete and stone structures.
E-mail: asiorel@mail.ru

Bakaeva Natalia V.

Moscow State University of Civil Engineering, (National Research University), Moscow, Russia,
counselor of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Urban Development.
E-mail: natbak@mail.ru

КИМ ЗИЕН ВУ¹, С.И. БАЖЕНОВА¹, ВАН ЛАМ ТАНГ², ХАНЬ ХАНЬ ФАН¹

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

²Ханойский горно-геологический университет, Ханой, Вьетнам

ВЛИЯНИЯ ВХОДНЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

Аннотация. В статье представлено влияние добавок и воды на прочность на сжатие и изгиб пенобетона после 28 суток нормального твердения. Механические свойства пенобетона определяют по ГОСТ 10180-2012. Исходный состав пенобетонной смеси рассчитывали методом абсолютного объема.

В результате получены уравнения регрессии первого порядка. Прочность на сжатие и прочность на изгиб пенобетона зависели от соотношений x_1 (В/(Ц+ДШ)) и x_3 (МК90/Ц), а также от выражения поверхности изображения и целевой функции для уравнений регрессии. Получено оптимальное значение: прочность на сжатие = 42,14 МПа и прочность на изгиб 6,31 МПа.

Ключевые слова: доменный шлак, микрокремнезем, суперпластификатор, пенобетон, прочность на сжатие, прочность на изгиб, оптимально.

KIM DIEN VU¹, S.I. BAZHENOVA¹, VAN LAM TANG², KHANH KHANH PHAN¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam

INFLUENCE OF INPUT FACTORS ON THE FOAM CONCRETE PROPERTIES

Abstract. The article presents the effect of additives and water on the compressive strength and flexural strength of foam concrete after 28 days of normal hardening. The foam concrete mechanical properties are determined according to the GOST 10180-2012. The initial composition of the foam concrete mixture was calculated by the absolute volume method.

As a result, the first-order regression equations are obtained. The compressive strength and flexural strength of foam concrete depended on the ratios x_1 (B/(C+DSh)) and x_3 (MK90/C), as well as on the expression of the image surface and the objective function for the regression equations. The optimal value was obtained: compressive strength = 42.14 MPa and flexural strength of 6.31 MPa.

Keywords: blast furnace slag, silica fume, superplasticizer, foam concrete, compressive strength, flexural strength, optimal.

Введение

В научных исследованиях особое значение имеют численные методы и компьютерные модели, используемые для прогнозирования конкретных свойств [1-3]. Кроме того, в технологии бетона часто используются математические методы для поиска оптимальных компонентов бетона и их дозировки для технологических процессов [4,5].

Планирование экспериментов - это процедура выбора количества и условий экспериментов, необходимых и достаточных для получения действующей математической модели процесса [5-7].

При планировании экспериментов следует учитывать следующее:

- Обратить внимание на минимизацию количества экспериментов.

- Предположить, что некоторые факторы остаются неизменными.
- Изучить несколько важных факторов, влияющих на свойства материалов, для планирования эксперимента.

Исследования [5, 8-10] показали, что при планировании эксперимента необходимо собрать дополнительную информацию о входных переменных исследуемом объекте, используя навыки и знания, полученные в предыдущих исследованиях. Это необходимо для сбора дополнительной информации о входных переменных исследуемом объекте.

Как известно, пенобетон - это сильно аэрированный раствор, обычно содержащий от 30 до 80% пузырьков воздуха по объему. В его состав входят портландцемент, вода, мелкий заполнитель, добавки и пена, полученная механическим способом. Пенобетон обладает высокой технологичностью, что позволяет ему под своим весом растекаться и уплотняться [11,14].

При использовании пенобетона в строительстве есть свои преимущества [3,11,13]: низкая теплопроводность; небольшой вес, в сравнении с тяжелым бетоном; данный тип бетона легко транспортировать, удобного использования и обрабатывать; долговечный, а прочность на сжатие и на изгиб уменьшаются с увеличением плотности.

Кроме того, кремнезем - самый популярный материал, используемый в бетоне для повышения его прочности. Для этого исследования микрокремнезем заменяется в диапазоне $0,1 \div 0,2\%$ от веса цемента [15]. По результатам предыдущих исследований, автором был исследован пенобетон плотностью 1700 кг/м^3 с использованием микрокремнеземной добавки, суперпластификатора и доменного шлака. Результат – образцы показали, прочность на сжатие в возрасте 28 суток около 40 МПа.

Кроме того, во Вьетнаме бетон используют для «каркасообразующих» конструкций, таких как балки, полы, колонны с пределом прочности при сжатии от $20 \div 40 \text{ МПа}$, плотностью 2500 кг/м^3 , но и легкий бетон, керамзитобетон, с значительно меньшей плотностью на легких заполнителях, применяемый для конструктивных элементов. На данном этапе работы никто из авторов еще не изучал применение пенобетона для элементов подвергающихся постоянным динамическим воздействия - конструкций пола.

Поэтому изучение пенобетон с прочностью на сжатие от 30 до 40 МПа и плотность $< 1800 \text{ кг/м}^3$ будет отвечать насущным потребностям строительства во Вьетнаме.

Методы и материалы

Материалы

Портландцемент (Ц) СЕМ I 42,5 N производства завода «But Son» (Вьетнам) с $\rho=3,10 \text{ г/см}^3$. Его химические свойства представлены в таблице 1.

Доменный шлак (ДШ) завода "Hoа Phat" (Вьетнам) с $\rho= 2,29 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1 – Химический состав Ц, ДШ и МК90

Химические компоненты (wt. %)	Портландцемент (Ц)	Доменный шлак (ДШ)	Silica fume (SF90)
SiO ₂	22,42	36,02	90,78
Al ₂ O ₃	5,31	13,44	2,22
Fe ₂ O ₃	3,45	-	2,46
SO ₃	-	0,15	-
K ₂ O	0,64	0,29	-
Na ₂ O	0,15	-	0,57
MgO	2,03	7,66	-
CaO	62,56	40,47	0,54
TiO ₂	-	0,5	-
потери при прокаливании (%)	3,44	1,47	3,43
Удельная поверхность, см ² /г	3665	4560	10120

В качестве связующего использовался микрокремнезем SF-90 (МК90), производство Вьетнам. Результаты анализа химического состава как Ц, МК90, так и ДШ представлены в

таблице 1, а гранулометрический состав частиц всех сыпучих материалов показаны на рисунке 1.

В качестве пластифицирующей добавки использовался суперпластификатор SR 5000F SilkRoad (SR5000), производство Корея. Его плотность при температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$ составила $1,1 \text{ г/см}^3$. Оптимальная дозировка суперпластификатора составляет 1,5% от массы портландцемента, что позволяет снизить расход воды в бетонных смесях на 30%.

Пенообразователь EABASSOC производится на заводе EABSSOC в Великобритании. Вспенивающие добавки имеют следующие характеристики: удельный вес $1,02 \text{ г/см}^3$, дозировка 0,3 - 0,6 л/м³.

Вода затворения (W), соответствующая требованиям ГОСТ 23732-2011 и TCVN 4506: 2012 [16,17].

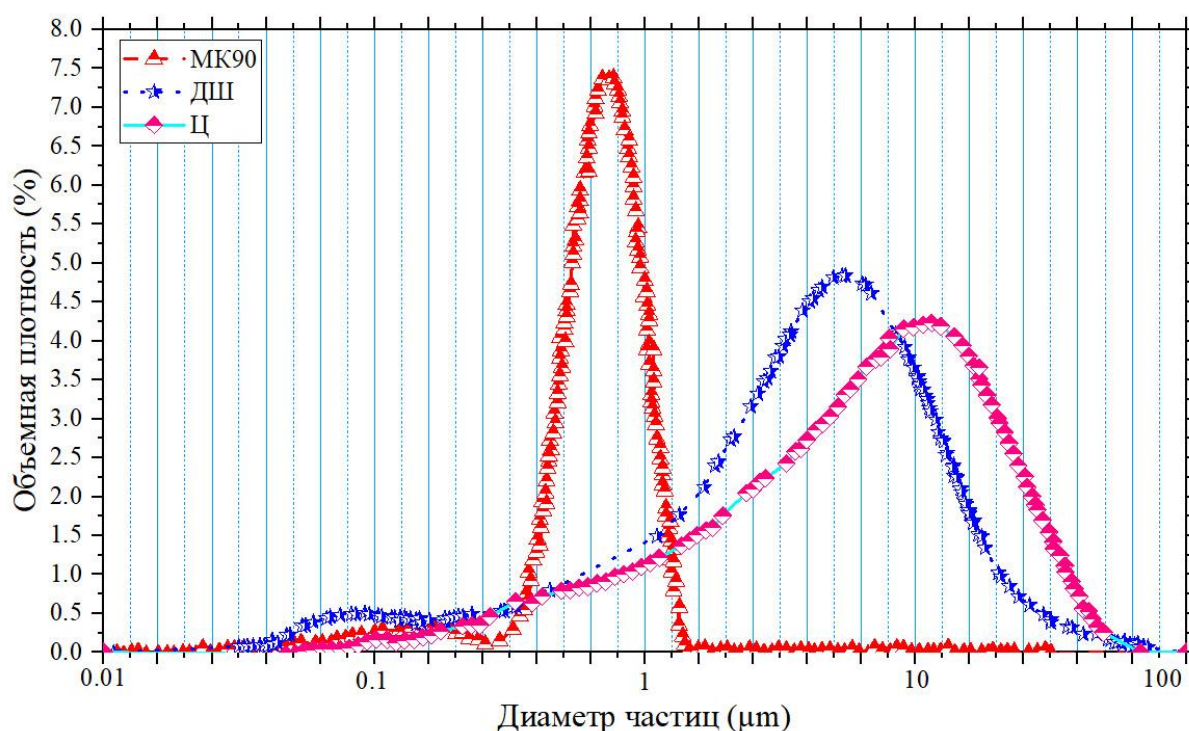


Рисунок 1 – Гранулометрический состав Ц, ДШ и МК90

Методы

Прочность на сжатие и изгиб пенобетона в возрасте 28 дней определяли по ГОСТ 10180-2012 [18].

В данной работе будет проведен анализ химического и зернистого состава Ц, ДШ и МК90 методом лазерной гранулометрии на приборе ВТ-9300Z (Китай). С другой стороны, применяется метод расчета состава бетонной смеси методом абсолютного объема Австралийского стандарта [19].

Влияние микрокремнезема SF90, отношения воды/цементно-доменного шлака, суперпластификатор на целевые функции описывается следующим уравнением (1).

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{31} X_3 X_1 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

Результаты

В данном исследовании количество цемента было зафиксировано $\text{OPC} = 450 \text{ кг/м}^3$ [2]. На основе анализа научной литературы [2,3,5,6,11,12] и результатов экспериментальных исследований.

Соотношение выбранных компонентов материала следующее:

- B
- x_1 – отношение $\frac{Ц + ДШ}{SR5000}$ от 0,2 до 0,22;
- x_2 – отношение $\frac{Ц}{MK90}$ от 0,01 до 0,02.
- x_3 – отношение $\frac{Ц}{B}$ от 0,05 до 0,15.

Количество испытаний N определяется по формуле (2):

$$N = 2^3 = 8 \quad (2)$$

Таблица 2 - Ортогональный план эксперимента

№ п/п	В виде переменных			В натуральном виде		
	x_1	x_2	x_3	$\frac{B}{Ц + ДШ}$	$\frac{SR5000}{Ц}$	$\frac{MK90}{Ц}$
1	+1	+1	+1	0,22	0,02	0,15
2	-1	+1	+1	0,20	0,02	0,15
3	+1	-1	+1	0,22	0,01	0,15
4	-1	-1	+1	0,20	0,01	0,15
5	+1	+1	-1	0,22	0,02	0,05
6	-1	+1	-1	0,20	0,02	0,05
7	+1	-1	-1	0,22	0,01	0,05
8	-1	-1	-1	0,20	0,01	0,05

Таблица 3 - Кодовые и реальные значения переменных факторов эксперимента

Коды	В виде переменных		
	x_1	x_2	x_3
-1	0,20	0,01	0,05
0	0,21	0,15	0,10
+1	0,22	0,02	0,15

Состав и механические свойства пенобетона в возрасте 28 суток представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Составы и прочность на изгиб образцов пенобетона в возрасте 28 суток

п/п	Компоненты пенобетона						Прочность на изгиб $R_{fс}^{28}$, МПа						S_{li}^2
	Ц	ДШ	SR5000	MK90	В	ПО (л)	$R_{из1}$	$R_{из2}$	$R_{из3}$	$Y_{li}^{cp} = R_{изi}^{cp}$	\bar{R}_i	$(Y_{li}^{cp} - \bar{Y}_{li})^2$	
1	450	926	9,0	68	302,7	111,71	6,01	5,94	5,96	5,97	5,802	0,02834	0,00130
2	450	926	9,0	68	275,2	139,23	6,21	6,25	6,17	6,21	6,307	0,00934	0,00160
3	450	926	4,5	68	302,7	115,80	5,95	5,88	5,92	5,92	5,802	0,01323	0,00123
4	450	926	4,5	68	275,2	143,32	6,09	6,15	6,12	6,12	6,307	0,03484	0,00090
5	450	926	9,0	23	302,7	132,64	5,17	5,12	5,48	5,26	5,255	0,00000	0,03803
6	450	926	9,0	23	275,2	160,16	6,07	5,98	6,05	6,03	5,760	0,07471	0,00223
7	450	926	4,5	23	302,7	136,73	4,78	5,08	5,05	4,97	5,255	0,08123	0,02730
8	450	926	4,5	23	275,2	164,25	5,71	5,77	5,83	5,77	5,760	0,00010	0,00360
Max $S^2 = 0,03803$					$\sum (Y_{li}^{cp} - \bar{Y}_{li})^2 = 0,24179$				$\sum S_{li}^2 = 0,07620$				

Таблица 5 - Составы и прочность на сжатие образцов пенобетона в возрасте 28 суток

п/п	Компоненты пенобетона						Прочность на сжатие $R_{сж}^{28}$, МПа						S_{2i}^2
	Ц	ДШ	SR5000	МК90	В	ПО (л)	$R_{сж1}$	$R_{сж2}$	$R_{сж3}$	$Y_{2i}^{cp} = R_{изi}^{cp}$	\bar{R}_i	$(Y_{2i}^{cp} - \bar{Y}_{2i})^2$	
1	450	926	9,0	68	302,7	111,71	39,5	38,7	38,1	38,77	37,646	1,25627	0,49333
2	450	926	9,0	68	275,2	139,23	42,6	42,8	41,4	42,27	42,121	0,02127	0,57333
3	450	926	4,5	68	302,7	115,80	37,5	36,2	38,7	37,47	37,646	0,03210	1,56333
4	450	926	4,5	68	275,2	143,32	40,2	42,3	40,6	41,03	42,121	1,18266	1,24333
5	450	926	9,0	23	302,7	132,64	33,8	33,1	34,7	33,87	33,421	0,19877	0,64333
6	450	926	9,0	23	275,2	160,16	39,1	40,8	39,6	39,83	37,896	3,75391	0,76333
7	450	926	4,5	23	302,7	136,73	31,2	31,1	33,8	32,03	33,421	1,92516	2,34333
8	450	926	4,5	23	275,2	164,25	36,2	36,7	37,8	36,90	37,896	0,99168	0,67000
Max $S^2 = 2,34333$					$\sum (Y_{2i}^{cp} - \bar{Y}_{2i})^2 = 9,36181$					$\sum S_{2i}^2 = 8,29333$			

Процесс экспериментов проводится согласно таблице 2, 3. Результаты экспериментов представлены в таблицах 4 и 5. Из таблиц 4 и 5 получаем коэффициенты уравнений регрессии $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{23}, \beta_{31}, \beta_{123}$. Значения коэффициентов уравнения регрессии определяются по критерию Стьюдента. Уравнение регрессии первого порядка определялось по результатам стандартного численного теста Фишера. Коэффициент уравнения регрессии представлен в таблице 6.

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по формулам [20]

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} Y_j}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2} \quad \forall j = \overline{1..n}; \beta_{ju} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 x_{ui} Y_j}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 x_{ui}^2} \quad \forall ju = \overline{1..n}; j \neq u$$

Таблица 6 - Коэффициенты уравнений регрессии

β_i Y_j	β_0	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{23}	β_{31}	β_{123}
Y_1 $R_{из}^{28}$, МПа	5,781	-0,253	0,087	0,273	-0,002	-0,051	0,142	-0,008
Y_2 $R_{сж}^{28}$, МПа	37,771	-2,238	0,913	2,113	-0,129	-0,279	0,471	0,146

Из таблицы 6 можно записать уравнение регрессии, описывающее зависимость входных факторов от прочности на сжатие и изгиб пенобетона в возрасте 28 суток.

$$Y_1 = 5,781 - 0,253x_1 + 0,087x_2 + 0,273x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,051x_2x_3 + 0,142x_3x_1 - 0,008x_1x_2x_3 \quad (3)$$

$$Y_2 = 37,771 - 2,238x_1 + 0,913x_2 + 2,113x_3 - 0,129x_1x_2 - 0,279x_2x_3 + 0,471x_3x_1 - 0,141x_1x_2x_3 \quad (4)$$

Проверка воспроизводимости экспериментов

Метод проверки повторяемости по критериям Кохрана, Формула рассчитывала рассчитанное значение по критериям Кохрана.

$$G_{расч} = \frac{\max S^2}{\sum S_i^2}$$

По литературным данным [21] критические значения для критерия Кохрана $G_{cr} = 0,5157$.

Для целевой функции прочности на изгиб.

Из формулы (4) имеем $G_{расч} = 0,49913 < G_{cr} = 0,5157$

Для целевой функции прочности на сжатие: $G_{расч} = 0,28256 < G_{cr} = 0,5157$

Следовательно, гипотеза однородности удовлетворяет условию $F_{расч} < F_{tab}$,

Проверить коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициент t_{bj} считается существенным, если $t_{bj} \geq t_{\alpha}(f)$,

Согласно [21] $t_{\alpha}(f) = 2,1199$.

Формула определяла t_{bj} :

$$t_{bj} = \frac{|b_j|}{S_{ve}}$$

$$S_{ve} = \sqrt{\frac{S_{ll}^2}{N}},$$

Значения t_{bj} для проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии (3) и (4) показаны в таблицах 7 и 8.

Таблица 7- Коэффициент $t_{\beta j}$ для целевой функции прочности на изгиб

j	0	1	2	3	4	5	6	7
β_j	β_0	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{23}	β_{31}	β_{123}
	5,781	-0,253	0,087	0,273	-0,002	-0,051	0,142	-0,008
$ \beta_j $	5,781	0,253	0,087	0,273	0,002	0,051	0,142	0,008
$t_{\beta j}$	59,232	-2,587	0,888	2,801	-0,017	-0,521	1,452	-0,077

Таблица 8- Коэффициент $t_{\beta j}$ для целевой функции прочности на сжатие

j	0	1	2	3	4	5	6	7
β_j	β_0	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{23}	β_{31}	β_{123}
	37,771	-2,238	0,913	2,113	-0,129	-0,279	0,471	0,146
$ \beta_j $	37,771	2,238	0,913	2,113	0,129	0,279	0,471	0,146
$t_{\beta j}$	37,097	-2,198	0,896	2,075	-0,127	-0,274	0,462	0,143

После проверки коэффициентов мы получили уравнение;

$$Y_1 = 5,781 - 0,253x_1 + 0,273x_3 \quad (5)$$

$$Y_2 = 39,771 - 2,238x_1 + 2,113x_3 \quad (6)$$

Проверить справедливость уравнений (5) и (6)

Проверить справедливость уравнений удовлетворяют условию;

$$F_{fc} < F_{tab}$$

где согласно документу [21] $F_{tab} = 3,69$.

$$F_{fc} = \frac{S_{av}^2}{S_{ll}^2}$$

$$S_{av}^2 = \frac{\sum (Y_i^{cp} - \bar{Y}_i)^2}{N - m}$$

Следовательно;

$$\Rightarrow F_{fc8} = \frac{S_{av}^2}{S_{ll}^2} = 0,63462 \Rightarrow F_{fc8} = 0,63462 < F_{tab} = 3,69$$

$$\Rightarrow F_{fc9} = \frac{S_{av}^2}{S_{ll}^2} = 0,22577 \Rightarrow F_{fc9} = 0,22577 < F_{tab} = 3,69$$

Таким образом, уравнения (5) и (6) удовлетворяют $F_{fc} < F_{tab}$

Изолинии регрессионных моделей для прочности при изгибе и сжатии приведены на рисунках 2 и 3.

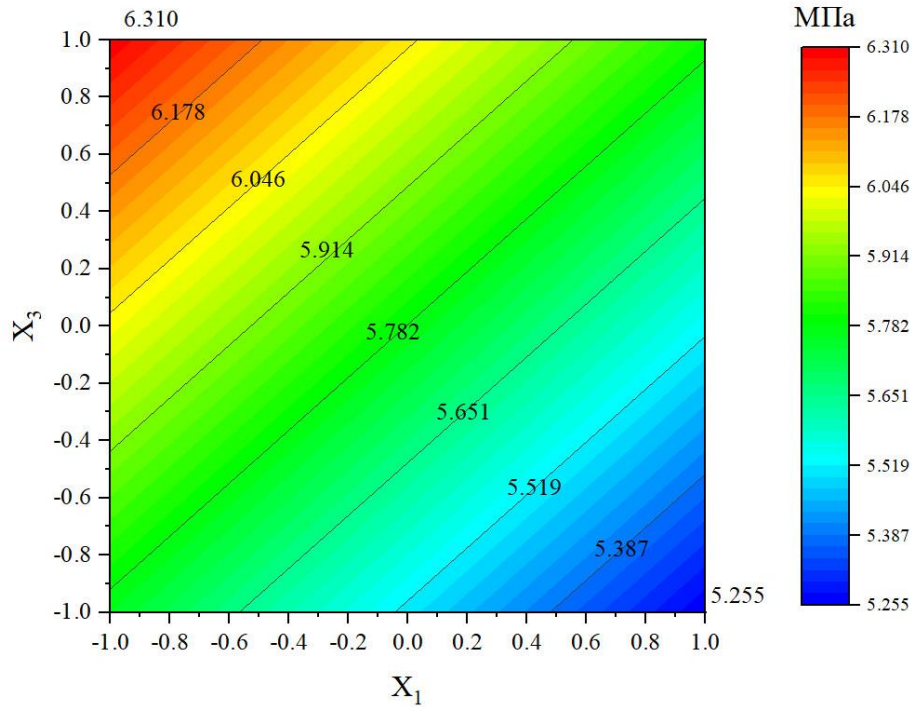


Рисунок 2 - Влияние X_1 и X_3 на прочность при изгибе

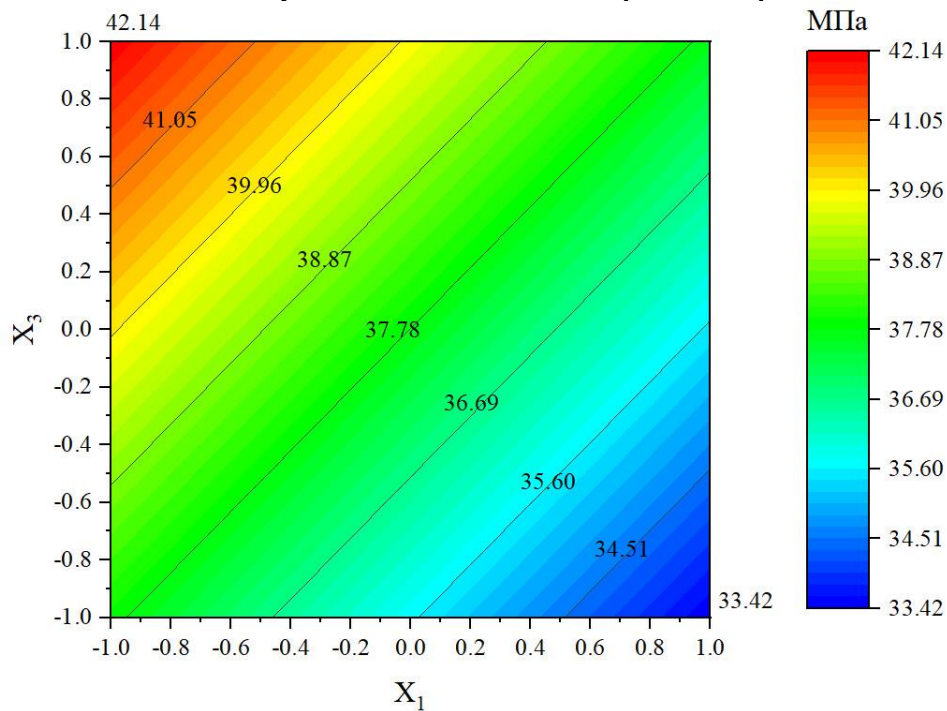


Рисунок 3 - Влияние X_1 и X_3 на прочность при сжатии

Выводы

По результатам исследований сделаны следующие заключения:

1. Статическая обработка результатов, выполняемая математическими методами для планирования экспериментов по оптимизации состава проектируемого пенобетона, с определенной вероятностью и количеством повторных испытаний. Затем образцы пенобетона сравнивают с результатами, полученными различными методами.

2. Полученные уравнения регрессии первого порядка (5) и (6) описывают зависимость прочности на сжатие и изгиб пенобетона через 28 дней в зависимости от переменных x_1 и x_3 .

3. Из рисунков 2 и 3 установлено, что, когда уменьшение (x_1) и увеличение (x_3) приводит к увеличению прочности на сжатие и прочности на изгиб образца пенобетона, влиянием (x_2) можно пренебречь из-за не сильно влияет.

4. Следующий, авторы продолжают изучение влияния коэффициентов x_1 ($\frac{B}{C + \frac{D}{\sqrt{MK90}}}$) и x_3 ($\frac{C}{D}$) на механические свойства пенобетона методом центрального композитного проектирования для двух входных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Williams H.P. Model Building in Mathematical Programming. 2013. 411 p.
2. Trong C.N., Xuan B.L. Уменьшение разницы температур в массивном бетоне за счет утепления поверхности // Журнал гражданского строительства. 2019. №4(88). С. 70–79. DOI: 10.18720/MCE.88.7.
3. Лам Т.В., Бу Д., Зиен В., Булгаков Б.И., Король Е.А. Свойства и теплоизоляционные эффективности легких бетонов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 8. С. 173–191. DOI: 10.18720/MCE.84.17. (rus)
4. Wang B., Xia X., Zhang J. Многоцелевая модель оптимизации для анализа затрат жизненного цикла и планирования модернизации зданий // Энергия и здания. 2014. № 77. С. 227–235. DOI:10.1016/j.enbuild.2014.03.025.
5. Aniskin N., Nguyen T. Факторы влияния на температурное поле в массивном бетоне. E3S Сеть конференций. 2019. 05021(97). С. 9. DOI://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705021.
6. Dvorkin L., Bezusyak A., Lushnikova N., Ribakov Y. Using mathematical modeling for design of self compacting high strength concrete with metakaolin admixture. Construction and Building Materials. 2012. No. 37. Pp. 851–864. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.019.
7. Sergeyevich A.A. Математическая теория экспериментального проектирования и планирования эксперимента в коммуникационных технологиях // Технологии информационного общества. 2012. №8. С. 3-5.
8. Song L., AbouRizk S M. Виртуальная модель цеха для экспериментального планирования проектов изготовления металлоконструкций // Журнал вычислительной техники в гражданском строительстве. 2006. №20(5). С. 308–316. DOI:10.1061/(asce)0887-3801(2006)20:5(308).
9. Pavlovna A.T. Методология планирования экспериментов. Сборник лабораторных работ для студентов специальности. 2006. 35 с.
10. Chuc N.T., Bui A.K. Evaluation of the impact of parameter inputs of concrete mix on the. Structural integrity and life. 2019. 19(1). Pp. 8–12.
11. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Цементный пенобетон с алюмосиликатной микросферой для монолитного домостроения // Инженерно-строительный журнал. 2018. №8(84). С. 86–96. DOI:10.18720/MCE.84.9.
12. Rybakov V A., Kozinets K G., Vatin N I., Velichkin V Z., Korsun V I. Технология изготовления легких железобетонных конструкций с использованием листов пенобетона и цемента // Инженерно-строительный журнал. 2018. №6(82). С. 103–111. DOI:10.18720/MCE.82.10.
13. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. Construction and Building Materials. 2019. 11 p. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036.
14. Dien V.K., Ly N.C., Lam T.V., Bazhenova S.I. Пенобетон с различным содержанием органо-минеральных добавок // Journal of Physics: Серия конференций. 2020. Vol. 1425. P. 10 DOI:10.1088/1742-6596/1425/1/012199.
15. Бу К.З., Баженова С.И., Тан В.Л. Влияние минеральных добавок, летучей золы, доменного шлака на механические свойства пенобетона. Строительство и реконструкция. 2020. №2 (88). С. 25–34. URL: DOI. 10.33979/2073-7416-2020-88-2-25-34.
16. Вода для бетона и раствора. Технические условия. Стандартный Вьетнам. TCVN - 4506:2012. 2012. 7 с.
17. Вода для бетона и раствора. Технические условия. Стандартный русский. ГОСТ-23732-2011. 2012. 21 с.
18. Concrete Methods for determining the strength of the control samples. Standard Russian. GOST-10180-2012. 2013. 36 p.
19. Методы испытания бетона. Австралийский стандарт. AS 1012.21994. 17С.
20. Баженов Ю.М. Технология бетона. АСВ 2011. 524 с.
21. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. Москва 1983. 416 с.

REFERENCES

1. Williams H.P. Model Building in Mathematical Programming. 2013. 411 p.
2. Trong C.N., Xuan B.L. Reducing temperature difference in mass concrete by surface insulation. // Magazine of Civil Engineering. 2019. No. 4(88). Pp. 70–79. DOI: 10.18720/MCE.88.7.
3. Tang V.L., Dinh T.V., Vu K.D., Bulgakov B.I., Korol' Y.A. Properties and thermal insulation performance of light-weight concrete // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 8. Pp. 173–191. DOI: 10.18720/MCE.84.17. (rus)
4. Wang B., Xia X., Zhang J. A multi-objective optimization model for the life-cycle cost analysis and retrofit planning of buildings // Energy and Buildings. 2014. No. 77. Pp. 227–235. DOI:10.1016/j.enbuild.2014.03.025.
5. Aniskin N., Nguyen T. Influence factors on the temperature field in a mass concrete. E3S Web of Conferences. 2019. 05021(97). Pp. 9. DOI://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705021.
6. Dvorkin L., Bezusyak A., Lushnikova N., Ribakov Y. Using mathematical modeling for design of self compacting high strength concrete with metakaolin admixture. Construction and Building Materials. 2012. No. 37. Pp. 851–864. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.019.
7. Sergeyevich A.A. The mathematical theory of experimental design and planning an experiment in communication technology // Information Society Technologies. 2012. No. 8. Pp. 3–5.
8. Song L., AbouRizk S M. Virtual shop model for experimental planning of steel fabrication projects // Journal of Computing in Civil Engineering. 2006. No. 20(5). Pp. 308–316. DOI:10.1061/(asce)0887-3801(2006)20:5(308).
9. Pavlovna A.T. Experiment Planning Methodology. Collection of laboratory works for students of the specialty. 2006. 35 p.
10. Chuc N.T., Bui A.K. Evaluation of the impact of parameter inputs of concrete mix on the. Structural integrity and life. 2019. 19(1). Pp. 8–12.
11. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Cement based foam concrete with aluminosilicate microspheres for monolithic construction. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 8(84). Pp. 86–96. DOI:10.18720/MCE.84.9. (rus)
12. Rybakov V.A., Kozinets K.G., Vatin N.I., Velichkin V.Z., Korsun V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 6(82). Pp. 103–111. DOI:10.18720/MCE.82.10. (rus)
13. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. Construction and Building Materials. 2019. 11 p. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036.
14. Dien V.K., Ly N.C., Lam T.V., Bazhenova S.I. Foamed concrete containing various amounts of organic-mineral additives. Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1425. Pp. 10. DOI:10.1088/1742-6596/1425/1/012199.
15. Vu K D., Bazhenova S I., Tang V.L. The effect of mineral additives, fly ash, blast furnace slag on the mechanical properties of foam concrete. Construction and Reconstruction. 2020. No. 2 (88). Pp. 25–34. URL: DOI. 10.33979/2073-7416-2020-88-2-25-34. (rus)
16. Water for concrete and mortar - Technical specification. Standard Vietnam. TCVN - 4506:2012. 2012. 7 p.
17. Water for concrete and mortar. Technical conditions. Standard Russian. GOST-23732-2011. 2012. 21 p. (rus)
18. Concrete Methods for determining the strength of the control samples. Standard Russian. GOST-10180-2012. 2013. 36p. (rus)
19. Methods of testing concrete. Australian Standard. AS 1012.21994. 17p.
20. Bazhenov YU M. Concrete technology. ACB 2011. 524p. (rus)
21. Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Math Statistics Tables. Moscow 1983. 416 p. (rus)

Информация об авторах:

Ву Ким Зиен

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: kimdienxdb@gmail.com

Баженова Софья Ильдаровна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: BazhenovaSI@mgsu.ru

Танг Ван Лам

Ханойский горно-геологический университет, Ха Ной, Вьетнам, кандидат технических наук, доцент факультета гражданского строительства.

E-mail: lamvantang@gmail.com

Фан Хань Хань

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства.

E-mail: Pkhanhkhanh@gmail.com

Information about authors:

Vu Kim Dien

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, postgraduate student, department of technologies of cohesive materials and concretes.

E-mail: kimdienxdb@gmail.com

Bazhenova Sofya I.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate, associate professor of department of technologies of cohesive materials and concretes.

E-mail: BazhenovaSI@mgsu.ru

Tang Van Lam

Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam, Ph.D., associated professor of civil engineering faculty.

E-mail: lamvantang@gmail.com

Phan Khanh Khanh

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, postgraduate student, department of hydraulics and hydrotechnical engineering.

E-mail: Pkhanhkhanh@gmail.com

Л.В. ИЛЬИНА¹, Л.Н. ТАЦКИ¹, Л.А. БАРЫШОК¹¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия

КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ НА ОСНОВЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ С ДОБАВКОЙ ОТХОДОВ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

Аннотация. Высокая стоимость керамических пигментов способствует расширению исследований по их замене на многотоннажные промышленные отходы. Опробованы составы шихт на основе низкокачественного глинистого сырья с добавками волластонита дисперсностью 10 мкм (ООО «Технохим», г. Новосибирск) и отход ферросиликомарганца, оседающего в рукавных фильтрах (Западно-Сибирский электрометаллургический завод г. Новокузнецк). Установлено, что введение в шихту 9 мас. % волластонита и 5 мас. % отхода при полусухом прессовании приводит к содержанию в черепке 15 мас. % волластонита – 2М с достижением максимальной прочности образцов 45,5 МПа и водопоглощения 14 мас. %. Отказ от использования добавки волластонита с увеличением дозировки отхода до 10 мас. % позволил без потери прочности снизить водопоглощение до 11,5 мас.%. Цвет черепка темно-шоколадный.

Ключевые слова: низкокачественное глинистое сырье, полусухое прессование, добавки волластонита и отхода ферросиликомарганца, фазовый состав черепка, физико-технические свойства.

L.V. ILINA¹, L.N. TACKY¹, L.A. BARSHOK¹¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

CERAMIC BRICK BASED ON LOW-QUALITY CLAY RAW MATERIAL WITH WASTE ADDITION FERROSILICOMANGANESE

Abstract. The high cost of ceramic pigments contributes to the expansion of research on their replacement with large-tonnage industrial waste. Charge compositions based on low-quality clay raw materials with additions of wollastonite with a dispersion of 10 microns (OOO Tekhnokhim, Novosibirsk) and waste of ferrosilicomanganese deposited in bag filters (West Siberian electrometallurgical plant, Novokuznetsk) were tested. It was found that the introduction of 9 wt. % wollastonite and 5 wt. % waste in semi-dry pressing leads to a content of 15 wt. % wollastonite - 2M with a maximum specimen strength of 45.5 MPa and water absorption of 14 wt. %. Refusal to use the addition of wollastonite with an increase in the dosage of the waste to 10 wt. % made it possible to reduce water absorption to 11.5 wt.% without loss of strength. The color of the che-turnip is dark chocolate.

Keywords: low-quality clay raw materials, semi-dry pressing, additions of wollastonite and ferrosilicomanganese waste, phase composition of the shard, physical and technical properties.

Введение

Керамический кирпич - востребованный стеновой материал. Выпуск стеновых керамических изделий в Центральном федеральном округе составляет до трети от общего количества, в Приволжье – 23 %, а в Сибири – около 18 % [1 - 5]. В индивидуальном строительстве и в реставрационных работах в последние годы находит применение керамический лицевой кирпич. Известно, что этот вид продукции может быть ангобированным, двухслойным, глазурированным и объемного окрашивания. Основные

преимущества последнего в его большей долговечности и в сохранении однородности окраски в объеме [6 - 8].

Большинство предприятий выпускает лицевой керамический кирпич объемного окрашивания способом пластического формования. Передовой в России является группа компаний «Голицынский кирпич», выпускающая изделия более десятка цветов [9].

В г. Новосибирск лицевой кирпич объемного окрашивания выпускают КЗ «Ликолор». На данном предприятии освещают керамический черепок, сочетая местное краснотелое сырье с привозным беложгущимся и получая абрикосовый цвет черепка. ООО «Стройкерамика» по заказу потребителей производит кирпич с осветленным черепком за счет введения в шихту тонкомолотого мела МТД-2 и изделия черного цвета за счет использования добавки пигмента MnO_2 .

Производство керамических пигментов затратно, поэтому в настоящее время проводятся работы по их замене на техногенные отходы, содержащие хромофорные компоненты. Под руководством А.Ю. Столбоушкина создано новое научное направление: «Строительные керамические материалы матричной структуры на основе техногенного и природного сырья». Практическая реализация идеи направлена на формирование матричной структуры керамики, состоящей из двух частей: ядра из недоспеченного материала и плотно спеченной оболочки [10, 11]. Апробированы отходы обогащения железных руд, углистых аргиллитов, марганцевых руд и т.д. [12 - 14]. Выпущены опытные партии кирпича из отходов [15, 16].

Сибирский регион не располагает качественным глинистым сырьем для производства керамического кирпича пластического формования. Глинистые породы характеризуются низким содержанием глинистых частиц (< 5 мкм) 7-14 об. % и высоким – пылеватых фракций (5 - 50 мкм) 65 - 75 об. % [17 - 20]. Следствием этого является высокая чувствительность сырья к сушке.

Н.Г. Гуров рекомендует перевод промышленности на выпуск кирпича полусухого прессования с включением в технологическую схему измельчительно-сушильной установки (ИСУ). В этом агрегате происходит сушка с частичной дегидратацией сырья, его помол и механотермическая активация. В результате снижается чувствительность глинистой породы к сушке и устраняется вредное влияние карбонатных включений. Следующей обязательной операцией является грануляция шихты. Н.Г. Гуров считает, что завод III поколения позволит выпускать кирпич, в том числе объемного окрашивания [21].

В публикации [17] введение в шихту на основе Барышевского месторождения (НСО) 10 мас. % охры позволило получить красно-коричневый цвет черепка с повышением прочности с 24,2 МПа до 31 МПа при практически не изменившемся водопоглощении (13,1-13,7 мас. %). Интересный результат получен при введении 10 мас. % редоксайда совместно с 5 мас. % плавня (молотое стекло): цвет черепка вишневый, предел прочности при сжатии возрос на 27 %, а водопоглощение снизилось на 13 % (до 11,4 мас. %) по сравнению с контрольным составом.

Таким образом, целью работы явилось изучение фазового состава керамического черепка из шихт с добавками отхода ферросиликомарганца Западно-Сибирского электрометаллургического завода (г. Новокузнецк) в увязке с физико-техническими свойствами обожженных образцов.

Сырьевые материалы

В качестве основного глинистого сырья использован пылеватый умеренно-пластичный суглинок Каменского месторождения, являющийся сырьевой базой кирпичного завода ООО «Стройкерамика» г. Новосибирска. Глинистая порода является полиминеральной: смешаннослойные минералы, гидрослюда, каолинит. В качестве примесей присутствуют кварц, полевошпат, карбонаты [22 - 24].

В качестве добавок использовались волластонит и отход ферросиликомарганца Западно-Сибирского электрометаллургического завода в г. Новокузнецк, оседающий в рукавных фильтрах.

Волластонит рассматривается как микроармирующая добавка ($S = 250 \text{ м}^2/\text{кг}$) [24]. Использовался волластонит производства ООО «Технохим» (г. Новосибирск) дисперсностью 10 мкм. Химический состав отхода ферросиликомарганца представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав ферросиликомарганца

Содержание, мас.% на сухое вещество										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO*	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	S	п.п.п
37,22	2,05	0,43	5,63	4,11	33,53	1,35	3,58	2,21	0,23	0,59

Примечание: *содержание марганца учтено в виде двухвалентного оксида марганца

Приведенные данные показывают, что максимальное количество приходится на оксиды SiO₂ и MnO; оксид Fe₂O₃ содержится в количестве 0,43 мас. %. Размер частиц отхода изменяется от 0,38 мкм до 119 мкм. На графике гранулометрического состава отхода (рисунок 1) отмечено два пика с максимумами при размере частиц около 3 мкм и 38 мкм, т.е. материал представляет собой пылевидный продукт. Минеральный состав отхода весьма сложен. Результаты рентгенофазового анализа приведены на рисунке 2.

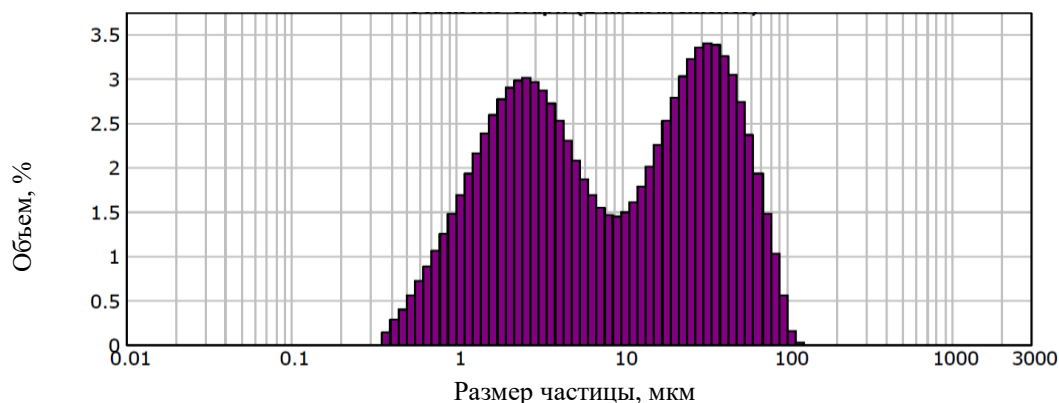


Рисунок 1 – Гранулометрический состав отхода ферросиликомарганца

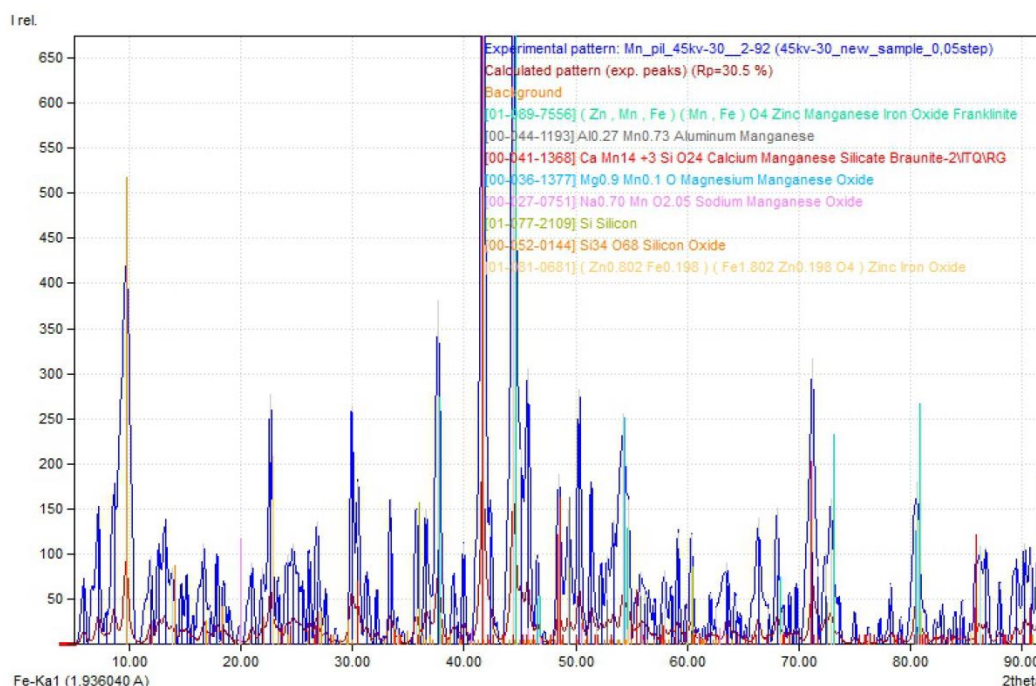


Рисунок 2 – Результаты рентгенофазового анализа отхода ферросиликомарганца

По результатам рентгенофазового анализа выявлено, что пылевидный отход имеет сложный минеральный состав. Окрашивающих черепок компонентов два: соединение, содержащее кальций, марганец, силикат и браунит (черная окраска) и содержащее магний и оксид марганца – светло-желтая окраска. В комбинации с глинистым сырьем при обжиге получен керамический черепок темно-шоколадной окраски.

Методы исследования

Технология изготовления образцов полусухого прессования заключалась в следующем. Сырье высушивалось и измельчалось в шаровой мельнице в течение 2 часов. Затем вводились добавки, смесь перемешивалась сначала в сухом состоянии, а затем во влажном. Смесь пропускали через сито 1,25 мм, имитируя процесс грануляции. Влажность пресс порошка 12 мас. %, давление прессования 25 МПа. Образцы диаметром 40 мм, массой по 80 г, прессовались в две стадии: 1 стадия – давление составляло 50 % от максимального. Образцы высушивались 3 суток под влажной тканью, 1 сутки без нее и затем в сушильном шкафу при 100-105 °С. Обжиг осуществлялся в лабораторной электропечи при температуре 1050 °С в течение 8 часов с выдержкой при максимальной температуре 1 час. Морозостойкость ориентировочно оценивалась по коэффициенту структурности, т.е. по соотношению водопоглощения при кипячении в течение 1 часа к водопоглощению за 48 часов насыщения.

У обожженных образцов определялись средняя плотность, предел прочности при сжатии, водопоглощение за 48 часов. Рентгенограммы керамического черепка образцов получены на порошковом дифрактометре Д8 Advance (Bruker AXS, Германия). Количественный анализ проведен методом Ритвельда (безэталонный метод), расчет выполнен в программе для профильного и структурного анализа Topas 4.2 (Bruker AXS, Германия). Присутствующие фазы установлены по базе данных порошковых дифрактограмм ICDD PDF-4, выпуск 2011 г. [25].

Результаты экспериментов

Для проведения исследования изготавливались экспериментальные образцы составов с добавками и без добавок (контрольный состав). Содержание добавок в составах приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Вещественный состав

№ состава	Вещественный состав, мас. %		
	глинистая порода	отход ферросиликомарганца	волластонит
1	100	0	0
2	96	1	3
3	92	5	3
4	86	5	9
5	90	10	0

Общий вид рентгенограмм составов с увеличенной областью фона представлена на рисунке 3. Выполнена расшифровка рентгенограмм образцов по межплоскостным расстояниям. В таблице 3 представлен фазовый состав образцов.

Таблица 3 - Фазовый состав образцов (мас.%)

Номер состава	SiO ₂ кварц	K ₅ Na ₅ AlSi ₃ O ₈ полевой шпат	Fe ₃ O ₄ магнетит	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈ альбит	Na _{6,8} (Al _{6,3} Si _{9,7} O ₃₂) нефелин	Fe ₂ O ₃ гематит	Mn _x Ca _{3-x} (SiO ₃) ₃ волластонит - 2 М	Mn _x Fe _{3-x} O ₄
1	42	21	-	32	1	4	-	-
2	39	13	-	38	-	4	6	-
3	38	8	6	39	-	1	8	-
4	36	10	-	34	-	5	15	-
5	35	12	4	40	-	1	-	8

Примечание: общая формула: (Na,Ca, K) Al(Si,Al)₃O₈, т.е. соединение имеет формулу ABC₃O₈, где вместо А могут быть элементы Na,Ca,K или любая их комбинация, не превышающая единицу, вместо В стоит Al, вместо С - Si и/или Al, либо их комбинация, не превышающая 3.

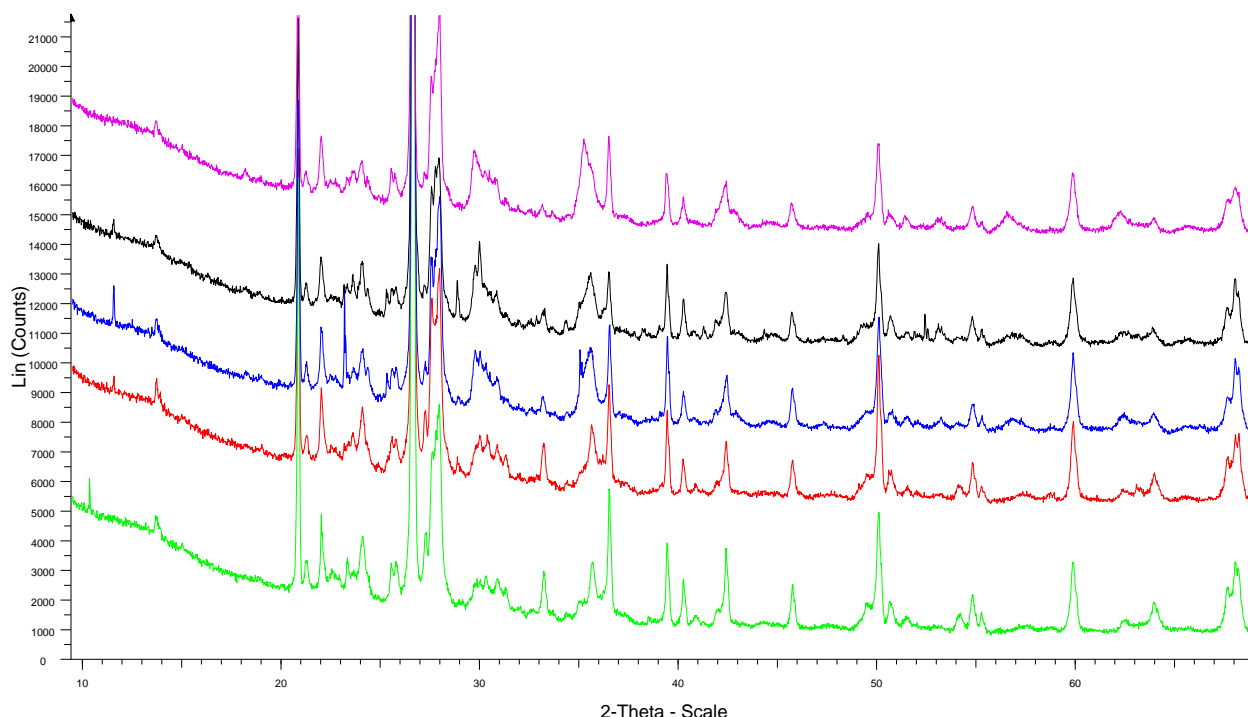


Рисунок 3 - Общий вид рентгенограмм составов:

№1 - обозначен зеленым цветом, №2 - красным, №3 - синим, №4 – черным, 5 - цветом фуксии

Состав без добавок содержит наибольшее количество кварца и полевого шпата и наименьшее – альбита по сравнению с другими образцами. Идентифицировать 1 мас.% нефелина по межплоскостным расстояниям не удалось. Установлено присутствие оксида железа Fe_2O_3 в количестве 4 мас. %.

Кварц выявлен по характеристическим линиям с $d/n = 0,334; 0,182$ и $0,154$ нм, а также по линиям с $d/n = 0,426; 0,369; 0,245; 0,228; 0,212; 0,166; 0,138; 0,137$ нм. Ортоклаз - $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ по линиям с $d/n = 0,403; 0,381; 0,319; 0,299; 0,294; 0,285; 0,251; 0,228; 0,177; 0,145$ нм. Альбит - $\text{Na}(\text{Al}, \text{Si}_3\text{O}_8)$ - $d/n = 0,322; 0,295; 0,255; 0,182; 0,145$ нм. Гематит Fe_2O_3 $d/n = 0,269; 0,251; 0,220; 0,184; 0,169; 0,148$ нм.

Состав 2 содержал 3 мас.% волластонита $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$ и 1 мас. % отхода ферросиликомарганца. По сравнению с контрольным образцом увеличилось содержание альбита и уменьшилось – полевого шпата. Вероятно, Na – содержащая часть полевого шпата пополнила количество альбита. Содержание гематита осталось без изменения. Волластонит обогатился марганцем и приобрел формулу $\text{Mn}_x\text{Ca}_{3-x}(\text{SiO}_3)_3$ – волластонит– 2 М.

В составе 3 гематит Fe_2O_3 восстановился до магнетита Fe_3O_4 ($d/n = 0,255; 0,210; 1,71; 1,61$) нм. Последний обладает большой реакционной способностью. Незначительно (на 1 мас.%) увеличилось содержание альбита. Остается не выясненной причина резкого снижения содержания полевого шпата. Интенсивность основного кварцевого пика с $d/n = 0,334$ нм в образце 3 снизилась, незначительно, а содержание полевого шпата уменьшилось в 1,6 раза по сравнению с составом 2. Появился (только в образце 3) эффект с $d/n = 0,383$ нм. Причина этого требует дополнительных исследований.

В таблице 4 представлены физико-технические свойства обожженных составов и цвет керамического черепка.

Таблица 4 - Свойства обожженных составов

№ состава	Наименование показателя				Цвет керамического черепка
	средняя плотность	прочность при сжатии, МПа	водопоглощение	коэффициент структурности	
1	1890	39,1	13,5	1,19	светло-коричневый
2	1847	35,6	12,4	1,29	темно-коричневый
3	1885	43,6	13,7	1,04	темно-шоколадный
4	1882	45,5	14,0	1,12	темно-шоколадный
5	1980	44,8	11,5	1,15	темно-шоколадный

Примечание. Формовочная влажность 12 мас.%, давление прессования 25 МПа, температура обжига 1050 °С.

Состав 4 содержал (мас. %): 5 – отхода и 9 – волластонита. В результате обжига резко возросло содержание волластонита – 2 М (таблица 3). Прочность образцов максимальная при незначительном увеличении водопоглощения.

При отсутствии в составе 5 волластонита образовалось при обжиге максимальное количество плавня – альбита, что позволило снизить водопоглощение черепка с 13,5 до 11,5 мас.% (таблица 4). Прочность по сравнению с составом 4 практически не изменилась.

Таким образом, отказавшись от добавки волластонита в пользу повышения содержания в шихте отхода – ферросиликомарганца удалось повысить прочность керамического черепка на 16,9 % и снизить водопоглощение с 13,5 до 11,5 мас. %. Темно-шоколадная окраска обогатит архитектурные возможности применения продукции. Ориентировочная оценка морозостойкости по коэффициенту структурности подтверждает пригодность лицевого кирпича всех составов для работы в сибирских условиях.

Выводы

В связи с дефицитом высококачественного глинистого сырья в Сибирском регионе оправдана рекомендация перехода на технологию полусухого прессования кирпича. Изучен фазовый состав керамического черепка образцов различных составов, что позволило сделать следующие выводы:

- наличие в сырье свободного кварца и примеси полевого шпата явилось основанием для содержания в керамическом черепке не только этих компонентов, но и повышения количества альбита;
- введение в шихту 3 мас.% добавки волластонита и всего 1 мас.% пылевидного отхода ферросиликомарганца Западно-Сибирского металлургического завода приводит к появлению в черепке 6 мас. % волластонита – 2 М $[Mn_xCa_{3-x}(SiO_3)_3]$;
- повышение содержания в шихте волластонита до 9 мас. % способствует увеличению количества в черепке до 15 мас. % волластонита – 2 М и достижению максимальной прочности обожженных образцов при неизменном водопоглощении;
- отказ от использования добавки волластонита и повышение содержания в шихте до 10 мас. % отхода ферросиликомарганца позволило повысить прочность на 16,9 % и снизить водопоглощение с 13,5 до 11,5 мас.%;

Формирование в керамическом черепке ферросиликомарганцевого новообразования $(Mn_xFe_{3-x}O_4)$ при одновременном повышении содержания альбита (плавня) способствует углублению процесса спекания, сопровождающегося снижением водопоглощения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated Cross-disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research». Vol. 284. Pp. 613–617. DOI: <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>.
2. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (Трапце 2018). 2019. Vol. 91. Articler Number 02006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>.

3. Vereshchagin V.I., Khabas T.A., Proskurdina O.A., Starosvetskiy S.I., Proskurdin D.V. Increase in strength of porous alumina ceramic by additives of aluminum oxide nanopowder // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2016. T. 7. No 1. Pp. 29-33. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2075113316010275>.
4. Тематические новости: «Рынок керамики, керамогранита и кирпича РФ» [Электронный ресурс]. URL: <http://infoline.spb.ru/shop/Tematicheskie-novosti/page.php?ID=151971> (Дата обращения: 21.02.2021).
5. Буйко О.В., Котенёва П.И. Анализ и тенденции развития рынка строительства и производства стеновых строительных материалов // *Ползуновский альманах*. 2017. № 4. Т. 2. С. 20-24. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30722108>.
6. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012143>.
7. Dovzhenko I.G. Light-tone ceramic facing brick manufacture using ferrous-metallurgy by-products // *Glass and Ceramics*. 2011. Vol. 68. No. 7–8, pp. 247–249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-011-9364-2>.
8. Brook R.I. Principles for the production of ceramics with improved chemical characteristics // *British Ceramic Society*. 1982. No. 32.
9. В Голицыно – за кирпичом // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2004. № 1. С. 10-11.
10. Столбоушкин А.Ю. Перспективное направление развития строительных керамических материалов из низкокачественного сырья // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28>.
11. Stolboushkin A., Akst D., Fomina O., Ivavov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes. 4th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. P. 02009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201714302009>.
12. Prim S.R., Folgueras M.V., M.A. de Lima, D. Hotza Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 192. P.1307-1313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.06.034>.
13. Andreola F. Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment / Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Federica Bondioli // *Dyes and Pigments*. 2012. Vol. 94. P. 207-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2012.01.007>.
14. Fomina O.A., Stolboushkin A.Yu. Firing of ceramics from granulated foam-glass // *Materials Science Forum*. 2020. T. 992 MSF. pp. 265-270. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265>.
15. Акст Д.В., Дружинин М.С., Столбоушкин А.Ю. Исследование влияния отходов обогащения марганцевых руд на объемное окрашивание керамических изделий // *Сб. Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. Труды всероссийской научно – практической конференции с международным участием. Сибирский государственный индустриальный университет, Архитектурно-строительный институт. Новокузнецк: СибГИУ*. 2016. С. 124-128.
16. Stolboushkin A.Y., Vereshchagin V.I., Fomina O.A., Phase composition of the core–shell transition layer in a construction ceramic matrix structure made from non-plastic raw material with clay additives // *Glass and Ceramics*. 2019. Vol. 76. pp. 16-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-019-00124-3>.
17. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Филин Н.С. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2019. № 7. С. 35- 49. DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48>.
18. Ilina L., Tatski L., Baryshok L. Quality Improvement of semi-dry pressing ceramic bricks from low-quality raw materials by the directional additives // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 962 (2020). P. 022007 DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022007>.
19. Тацки Л.Н., Ильина Л.В. Разработка составов шихт из низкокачественного глинистого сырья в технологии стеновой керамики объемного окрашивания // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2020. № 1 (733). С. 87 – 101. DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-733-1-87-101>.
20. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Building Ceramics Based on Carbonate-Containing Raw Materials // *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 284. Pp. 910–915. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.910>.
21. Гуров Н.Г. Заводы керамических стеновых материалов III поколения как современная база жилищного строительства в Российской провинции // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 6-8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16692026>.
22. Глины и глинистые минералы Сибири / под ред. Ю.П. Казанского. Новосибирск: Наука. 1965. 132 с.
23. Бурученко А.Е., Харук Г.Н., Мушарапова С.И., Сергеев А.А. Влияние карбоната кальция на формирование фазового состава керамики на основе легкоплавких и тугоплавких глин при обжиге // *Известия вузов. Строительство*. 2018. № 2. С. 21-29. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35161583>.
24. Тацки Л.Н., Ильина Л.В. Влияние состава шихты из низкокачественного сырья на свойства осветленного керамического черепка // *Строительство и реконструкция*. 2020. №2 (88). С.114-122. DOI: [10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122).
25. База данных порошковых дифрактограмм ICDD PDF-4, выпуск 2011 г. [Электронный ресурс]. <https://www.icdd.com/pdf-4> (Дата обращения: 21.02.2021).

REFERENCES

1. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated Cross-disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research». Vol. 284. Pp. 613–617. DOI: <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>.
2. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (Tpacce 2018). 2019. Vol. 91. Articlur Number 02006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>.
3. Vereshchagin V.I., Khabas T.A., Proskurdina O.A., Starosvetskiy S.I., Proskurdin D.V. Increase in strength of porous alumina ceramic by additives of aluminum oxide nanopowder // Inorganic Materials: Applied Research. 2016. T. 7. No 1. Pp. 29-33. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2075113316010275>.
4. Tematicheskie novosti: «Rynok keramiki, keramogranita i kirpicha RF» [Thematic news: “The market of ceramics, porcelain stoneware and brick of the Russian Federation”] [Online]. URL: <http://infoline.spb.ru/shop/Tematicheskie-novosti/page.php?ID=151971> (date of the application: 21.02.2021). (rus)
5. Buiko OV, Koteneva P.I. Analiz i tendencii razvitiya rynka stroitel'stva i proizvodstva stenovykh stroitel'nykh materialov [Analysis and development trends of the construction market and production of wall building materials] *Polzunovskiy Almanac*. 2017. No. 4. Vol. 2. Pp. 20-24. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30722108>. (rus)
6. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012143>. 2016
7. Dovzhenko I.G. Light-tone ceramic facing brick manufacture using ferrous-metallurgy by-products // Glass and Ceramics. 2011. Vol. 68. No. 7–8, pp. 247–249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-011-9364-2>.
8. Brook R.I. Principles for the production of ceramics with improved chemical characteristics // British Ceramic Society. 1982. No. 32.
9. V Golitsyno – za kirpichom [In Golitsyno - behind a brick] *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2004. No. 1. Pp. 10-11. (rus)
10. Stolboushkin A.YU. Perspektivnoe napravlenie razvitiya stroitel'nykh keramicheskikh materi- alov iz nizkokachestvennogo syr'ya [A promising direction for the development of building ceramic materials from low-quality raw materials] *Stroitel'nye materialy*. 2018. No. 4. Pp. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28>. (rus)
11. Stolboushkin A., Akst D., Fomina O., Ivavov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes. 4th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. P. 02009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201714302009>.
12. Prim S.R. Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry / S.R. Prim, M.V. Folgueras, M.A. de Lima, D. Hotza // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol. 192. P.1307-1313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.06.034>.
13. Andreola F. Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment / Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Federica Bondioli // Dyes and Pigments. 2012. Vol. 94. P. 207-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2012.01.007>.
14. Fomina O.A., Stolboushkin A.Yu. Firing of ceramics from granulated foam-glass // Materials Science Forum. 2020. T. 992 MSF. pp. 265-270. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265>.
15. Akst D.V., Druzhinin M.S., Stolboushkin A.YU. Issledovanie vliyaniya othodov obogashcheniya mangansevykh rud na ob"emnoe okrashivanie keramicheskikh izdelij [Investigation of the influence of manganese ore dressing wastes on the volumetric coloration of ceramic products] *Aktual'nye voprosy sovremennogo stroitel'stva promyshlennyykh regionov Rossii. Trudy vseros-sijskoj nauchno – prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Sibirskij gosudarstvennyj industrial'nyj universitet, Arhitekturno-stroitel'nyj institut. Novokuzneck: SibGIU*. 2016. Pp. 124-128. (rus)
16. Stolboushkin A.Y., Vereshchagin V.I., Fomina O.A., Phase composition of the core–shell transition layer in a construction ceramic matrix structure made from non-plastic raw material with clay additives // Glass and Ceramics. 2019. Vol. 76. pp. 16-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-019-00124-3>.
17. Tacky L.N., Ilina L.V., Filin N.S. Tekhnologicheskie principy povysheniya kachestva keramicheskogo kirpicha polusuhogo pressovaniya iz nizkokachestvennogo syr'ya [Technological principles for improving the quality of semi-dry pressed ceramic bricks from low-quality raw materials] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. No. 7. Pp. 35-49. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48>. (rus)
18. Ilina L., Tatski L., Baryshok L. Quality Improvement of semi-dry pressing ceramic bricks from low-quality raw materials by the directional additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962 (2020). P. 022007 DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022007>.

19. Tacky L.N., Ilina L.V. Razrabotka sostavov shiht iz nizkokachestvennogo glinistogo syr'ya v tekhnologii stenovoy ke-ramiki ob"emnogo okrashivaniya [Development of charge compositions from low-quality clay raw materials in the technology of bulk-colored wall ceramics] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2020. No. 1 (733). Pp. 87 – 101. DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-733-1-87-101>. (rus)
20. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Building Ceramics Based on Carbonate-Containing Raw Materials // *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 284. Pp. 910–915. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.910>.
21. Gurov N.G. Zavody keramicheskikh stenovykh materialov III pokoleniya kak sovremennaya baza zhilishchnogo stroitel'stva v Rossijskoj provincii [Factories of ceramic wall materials of the III generation as a modern housing base in the Russian province] *Stroitel'nye materialy*. 2011. No. 4. Pp. 6-8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16692026>. (rus)
22. Gliny i glinistyie mineraly Sibiri [Clays and clay minerals of Siberia] / ed. Yu.P. Kazansky. - Novosibirsk: Science. 1965. 132 p. (rus)
23. Buruchenko A.E., Kharuk G.N., Musharapova S.I., Sergeev A.A. Vliyanie karbonata kal'ciya na formovanie fazovogo sostava keramiki na osnove legkoplavkikh i tugo-plavkikh glin pri obzhige [The effect of calcium carbonate on the formation of the phase composition of ceramics based on low-melting and refractory clays during firing] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2018. No. 2. Pp. 21-29. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35161583>. (rus)
24. Tacky L.N., Ilina L.V. Vliyanie sostava shihty iz nizkokachestvennogo syr'ya na svoystva osvetlennogo keramicheskogo cherepka [Influence of the composition of the charge made of low-quality material on the properties of the clarified ceramic shard] *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2020. No. 2 (88). Pp.114-122. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122. (rus)
25. Baza dannykh poroshkovykh difraktogramm ICDD PDF-4, vypusk 2011 g. [ICDD powder diffractogram database PDF-4, edition 2011] [Электронный ресурс]. <https://www.icdd.com/pdf-4> (date of the application: 21.02.).

Информация об авторах:

Ильина Лилия Владимировна

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск, Россия, доктор технических наук, профессор, декан факультета инженерных и информационных технологий. E-mail: l.ilina@sibstrin.ru

Тацки Людмила Николаевна

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации. E-mail: sqsc@sibstrin.ru

Барышок Леонид Алексеевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск, Россия, студент группы 161 маг. E-mail: leonid_baryshok@mail.ru

Information about authors:

Ilina Liliia V.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia, doctor of technical sciences, professor, dean of the faculty of engineering and information technologies. E-mail: l.ilina@sibstrin.ru

Tacky Lyudmila N.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of building materials, standardization and certification. E-mail: sqsc@sibstrin.ru

Baryshok Leonid A.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia, student group 161 mag. E-mail: leonid_baryshok@mail.ru

Е.В. ТКАЧ¹, Р.И. ТЕМИРКАНОВ¹, О.В. РУЖИЛО²¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия²ООО «Холсим (Рус) СМ», Москва, Россия

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ И МИКРОАРМИРУЮЩИМИ ВОЛОКНАМИ

Аннотация. Основной задачей осуществления экологической политики является создание ресурсоэффективной системы размещения и утилизации промышленных отходов и вторичного сырья, в частности, при производстве строительных материалов и изделий заданных свойств. В рамках данных исследований рассмотрены вопросы, связанные с активацией микрокремнезема, являющийся отходом ферросплавного производства и способы его применения для модифицирования структуры цементного камня, в частности, для тяжелого бетона. Определены механизм процесса структурообразования, способ введения и оптимальный расход добавки для модифицирования бетонной смеси. С помощью комплексного исследования определены продукты диспергирования микрокремнезема, входящего в состав комплексного модификатора. Установлено, что процесс действия химической активации минеральных частиц изучен недостаточно, в связи с этим представленные исследования, заключающиеся в поиске решений повышения эксплуатационных характеристик за счет процесса предварительной обработки микрокремнезема щелочной средой $pH=10.2$ совместно с микроармирующим компонентом, являются актуальными.

Целью исследования является установить положительное действие процесса активации микрокремнезема совместно с микроармирующим компонентом на модифицирование структуры тяжелого бетона для повышения гидрофизических свойств. Объект исследования - модифицированный тяжелый бетон на основе активированного микрокремнезема совместно с микроармирующим компонентом. В данной работе применялись следующие методы исследования: физико-химическая активация микрокремнезема водой, обработанная методом электролиза прибором «Мелеста»; определение марки морозостойкости в климатической камере WK3 180/40; водонепроницаемость определяли в установке УВБ-МГ4.01; водопоглощение определяли, используя электрическую цифровую печь СНОЛ.

Результаты исследования: установлено положительное влияние на гидрофизические свойства тяжелого бетона путем уменьшения содержания вяжущего (цемента) и замены его микродисперсным наполнителем, предварительно активированным щелочной средой с $pH=10.2$. Дальнейшее модифицирование комплексной добавкой (высоководоредуцирующая добавка «MasterGlenium 115» с расходом 1% плюс реакционно-химическая добавка микрокремнезем марки МКУ-95 – 15% от массы вяжущего) совместно базальтовым волокном, позволяет улучшить следующие характеристики: водопоглощение – 2%; марка по водонепроницаемости – W14; морозостойкость – F600, что дает возможность применять данный состав на практике для получения строительных изделий и конструкций с заданными характеристиками в суровых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение, кремнезем, базальтовое волокно, гидрофизические свойства.

E. V. Tkach¹, R. I. Temirkanov¹, O. V. Ruzhilo²¹National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia²LafargeHolcim (Russia), Moscow, Russia

STUDY OF THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE MODIFIED WITH AN ORGANOMINERAL ADDITIVE AND MICRO-REINFORCING FIBERS

Abstract. The main task of the implementation of environmental policy is to create a resource-efficient system for the placement and disposal of industrial waste and secondary raw materials, in particular, in the production of building materials and products of specified properties. Within the framework of these studies, issues related to the activation of microsilica, which is a waste of ferroalloy production, and methods of its use for modifying the structure of cement stone, in particular, for heavy concrete, are considered. The mechanism of the structure formation process, the method of introduction and the optimal consumption of the additive for modifying the concrete mixture have been determined. With the help of a comprehensive study, the products of dispersion of microsilica, which is part of the complex modifier, have been determined. It has been established that the process of the chemical activation of mineral particles has not been sufficiently studied, in this regard, the presented studies, which consist in finding solutions to increase the operational characteristics due to the process of pretreatment of microsilica with an alkaline medium $pH = 10.2$ together with a micro-reinforcing component, are relevant.

The aim of the study is to establish the positive effect of the activation process of silica fume together with a micro-reinforcing component on the modification of the structure of heavy concrete to increase the hydrophysical properties. The object of research is a modified heavy concrete based on activated microsilica with a micro-reinforcing component. In this work, the following research methods were used: physicochemical activation of microsilica with water, treated by electrolysis with the Melesta device; determination of the frost resistance grade in the WK3 180/40 climatic chamber; water tightness was determined in the UVB-MG4.01 installation; water absorption was determined using a SNOL electric digital oven.

Research results: a positive effect on the hydrophysical properties of heavy concrete was established by reducing the content of the binder (cement) and replacing it with a microdispersed filler previously activated with an alkaline medium with $pH = 10.2$. Further modification with a complex additive (high-water-reducing additive "MasterGlenium 115" with a consumption of 1% plus a reaction-chemical additive with microsilica grade MKU-95 - 15% of the binder mass) together with basalt fiber, improves the following characteristics: water absorption - 2%; waterproof grade - W14; frost resistance - F600, which makes it possible to apply this composition in practice to obtain building products and structures with specified characteristics in harsh operating conditions.

Keywords: frost resistance, water resistance, water absorption, silica, basalt fiber, hydrophysical properties.

Введение

Тяжелые бетоны применяются в качестве конструкционных материалов, работающих в суровых условиях эксплуатации при возведении конструкции для зданий и сооружений гражданского, промышленного и специального назначения, что обусловлено их высокой прочностью (до 150 МПа и выше), морозостойкостью ($F1 = 1000$), плотностью (до 2500 кг/м³), водонепроницаемостью (W20), коррозионной стойкостью в агрессивных средах. В настоящее время активно проводятся исследования по модифицированию бетонов за счет применения химических добавок-модификаторов, а также микро- и нанодисперсными добавками (углеродные нанотрубки, силикатные микросферы, наночастицы оксидов металлов и др.) [5-7].

Преимуществами таких бетонов по сравнению с традиционными являются повышенные показатели качества: физико-механические характеристики (прочность на сжатие, растяжение при изгибе, трещиностойкость), что связано с повышением плотности и модифицированием структуры цементного камня. Вместе с тем, по ряду физико-механических характеристик тяжёлые бетоны не соответствуют современным требованиям, предъявляемым к современным строительным материалам и изделиям на их основе. Для улучшения их эксплуатационных характеристик в последнее время проводятся исследования в направлении модифицирования цементных бетонов путем введения в состав эффективных комплексных добавок, содержащих активные частицы кварца [8-12], а также микроармирующие компоненты [13-17], что является перспективным и ресурсосберегающим направлением развития материаловедения. Имеющиеся в литературе данные по этой проблеме [9,10,16] не позволяют составить целостного представления о влиянии состава бетонной смеси, перевода частиц аморфного микрокремнезема в активную форму в щелочной среде совместно с микроармирующим компонентом в виде полипропиленовой фибры или базальтового волокна на физико-механические свойства. В связи с чем изучение синергетического эффекта

воздействия микроармирующего волокна и активированного микрокремнезема на эксплуатационные характеристики тяжелого бетона является актуальным как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Одним из путей решения проблемы повышения характеристик тяжёлых бетонов является введение в состав бетонных смесей активных минеральных добавок - золы-уноса, микрокремнезема, золы рисовой шелухи. В этом направлении наиболее перспективные результаты получены в работах [1-3,4,8].

В работе [4] авторы приводят результаты исследований бетонной смеси с комплексным модификатором, в состав которой входят зола рисовой шелухи, зола-уноса (неорганическая составляющая), плюс суперпластификатор С-3 или Sika ViscoCrete 5-New (органическая составляющая). Выявлен двоякий механизм действия модификаторов в цементных системах: «химический» фактор - содержание в своем составе диоксида кремния в аморфной модификации и золы рисовой шелухи высокой дисперсности; «физический» фактор - заполнения пространства между кристаллогидратами и сокращения объема свободной воды, приводящий к снижению капиллярной пористости цементного камня и повышению количества гелевых пор. Введение в бетонную смесь золы рисовой шелухи и золы-уноса с расходом каждой добавки равной 10% совместно с суперпластификатором Sika ViscoCrete 5-New расходом 1,5% от массы вяжущего вещества повышает в возрасте 28 суток прочность на растяжение при изгибе на 10%, призмную прочность – 19,5%, кубиковую прочность при сжатии на 18,2%, по отношению к контрольному образцу. Результаты использования данной добавки при получении высокопрочного бетона также приведены в работах [3,8], которые не вполне соответствуют данным [10]. Расхождения можно объяснить содержанием кварца в активных минеральных добавках и рекомендуемым расходом комплексной добавки. Другие типы добавок, способствующих улучшению характеристики трещиностойкости бетонов, исследованы в работах [12-15]. В работе [16] исследования основаны на изучении влияния дисперсного армирования полипропиленовым волокном на бетонные элементы. Показано, что введение в мелкозернистую бетонную смесь полипропиленовой фибры с расходом 4 кг/м³ и длиной элементарного волокна 6 мм, способствует повышению предела прочности при сжатии на 25,4% и при изгибе на 51,2% относительного контрольного состава. При этом отмечается эффект «переармирования» материала при повышении рекомендуемого расхода волокна, что негативно влияет на физико-механические характеристики исследуемых образцов бетона. Дальнейшее увеличение содержания полипропиленового волокна уменьшает толщину цементного камня между ними, что приводит к расслоению и нарушению сплошности образца. Аналогичное изменение вышеуказанных показателей по сравнению с контрольными образцами наблюдали в работах [14,15].

Более перспективным с точки зрения ресурсоэффективности является использование модификаторов, содержащих в своем составе аморфный микрокремнезем, являющийся более доступным и экологически безопасным отходом ферросплавного производства. Преимуществом его применения является способность позитивно воздействовать на основные эксплуатационные свойства тяжелого бетона: водонепроницаемость, прочность, морозостойкость, износостойкость, выносливость, стойкость к хлоридной, сульфатной коррозии, сопротивляемость к воздействию морской воды и слабых кислот [4,8]. Ряд модификаторов изучены в работах зарубежных авторов [10-14]. В исследовании [17] показано, что введение комплексной добавки суперпластификатор GleniumACE 430 совместно с микрокремнеземом в бетонную смесь на основе гидравлического вяжущего вещества, повышает морозостойкость до 400 циклов и выше, что связано с аморфизацией структуры цементного камня. Результаты использования этой добавки при получении высокопрочного тяжелого бетона также приведены в работах [2-4,8], которые не вполне соответствуют данным [17]. Расхождения можно объяснить различным способом введения и дозировкой модификатора. Анализ литературных данных [2-20] по составу и характеристикам бетонов, влияния комплексных модификаторов на прочностные и эксплуатационные характеристики

показал, что вопросы снижения расхода микрокремнезема, путем перевода частиц в активную форму, и совместное влияние дисперсного армирования на заданные характеристики изучаемого материала до сих пор остаются невыясненными. В связи с этим целью настоящей работы являлось разработка органоминеральной композиции с оптимальным расходом активированного микрокремнезема и микроармирующего волокна для повышения прочностных, деформативных и гидрофизических характеристик тяжелого бетона.

Модели и методы

Для получения бетонов в работе использовали исходные материалы со следующими характеристиками. Вяжущим являлся портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н, производитель ООО "Холсим (Рус) Строительные Материалы" (г. Калуга). Химический и минеральный состав цемента определяли при помощи рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический и минеральный состав портландцемента

Марка цемента	Химический состав, мас. %						
	Na ₂ O	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
ЦЕМ I 42,5Н	0,57	0,3	0,69	3,75	65,36	4,89	24,44
	Содержание кристаллических фаз в клинкере, мас. %						
	C ₄ AF (4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃)		C ₃ A (3CaO·Al ₂ O ₃)		C ₂ S (2CaO·SiO ₂)		C ₃ S (3CaO·SiO ₂)
	11,46		7,84		12,62		68,08

Дисперсный состав, технологические и прочностные характеристики цемента и получаемого из него цементного камня определяли с использованием ситового анализа (контролировали тонкость помола цемента прохождения через сито № 008 с размером ячеек 80 мкм не менее 85% массы просеиваемой пробы), пикнометрического метода (истинная плотность цемента составила 3156 кг/м³), определения прочности на изгиб и сжатие (универсальный испытательный блок UPB 86/ 200, Form+Test, Германия) в соответствии со стандартными методиками. Для определения механической прочности готовили образцы-балочки размером 4×4×16см из цементно-песчаного раствора с водоцементным отношением В/Ц=0,4. После изготовления образцы в формах содержали 1 сутки в ванне с гидравлическим затвором, в которой обеспечивался режим: относительная влажность воздуха не менее 90% и температура среды (20±2)°С. Через сутки образцы расформовали и в затем 27 суток хранили в ванне с водой, температуру в которой контролировали в пределах (20±2)°С. По истечении срока хранения образцы-балочки вынимали из ванны с водой и не позднее, чем через 30 мин испытывали на прочностные характеристики. Полученные результаты приведены в таблице 2.

По результатам испытаний установлено, что цемент соответствует требованиям стандарта по нормируемым показателям: тест на равномерность изменения объема, начало схватывания цементного теста, прочности при сжатии через 2 и 28 суток.

Таблица 2 - Результаты определения характеристик портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н

Показатель	Результаты измерений	Нормируемые значения по ГОСТ 31108-2016
Остаток на сите 45 мкм, %	2,9	-
Остаток на сите 80 мкм, %	0,3	-
Площадь удельной поверхности, см ² /г	3545	-
Истинная плотность, кг/м ³	3156	-
Насыпная плотность, кг/м ³	1248	-
Нормальная густота, %	27	-
Тест на равномерность изменения объема (кольцо Ле-Шателье)	Выдерживает	Выдерживает
Начало схватывания, мин	197	Не ранее 60
Прочность при сжатии в возрасте 2 сут., МПа	24,7	Не менее 10
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	57,5	Не менее 42,5

В качестве мелкого заполнителя использовали природный песок с модулем крупности 2,4 с размером частиц от 0,16 мм до 2,5 мм (поставщик ООО «СТМ-Неруд», г. Чехов, Московская область). Основной фазой песка являлся SiO₂ в кристаллической модификации кварц, тридимит и кристобалит. Содержание примесей не превышало 1,5%, в состав примесей входили пылевидные и глинистые примеси.

В качестве крупного заполнителя использовали гранитный щебень фракции от 5 до 20 мм производства ООО «Сунский карьер», г. Петрозаводск, соответствующий требованиям по содержанию зерен пластинчатой и игловатой формы – 13,0 %; пылевидных, илистых и глинистых частиц – 0,97 %; марка щебня по дробимости – 1400; марка щебня по морозостойкости – 300; насыпная плотность – 1350 кг/м³; удельная эффективная активность радионуклидов (A_{эфф}) – 92 Бк/кг; марка щебня по истираемости И-1. Максимум в распределении щебня по размерам приходился на 20 мм. Исследуемый заполнитель относится к среднезернистому типу кристаллической структуры.

Для затворения бетонных смесей использовали водопроводную воду с содержанием сульфатов 2500 мг/л (в пересчете на SO₄) и содержанием всех солей 3600 мг/л. Для сохранения марки по жесткости (Ж1), водоцементное отношение не изменяли (В/Ц=0,35).

Для повышения подвижности бетонных смесей в них вводили гиперпластификатор «MasterGlenium 115» на основе эфира поликарбоксилата, (производитель ООО «БАСФ Строительные системы», г. Краснодар), расход которого составлял 1% от массы вяжущего вещества, рекомендованный производителем, модификатор вводили в бетонную смесь одновременно с водой затворения, из расчета 4,2 кг на 1 м³ готовой смеси.

В качестве активной минеральной добавки в бетонные смеси вводили микрокремнезем марки МКУ-95 (производитель ООО "РУСАЛ Кремний Урал", г. Каменск-Уральский) с интервалом варьирования в количестве от 10 до 20% от массы вяжущего вещества, его химический состав отображен в таблице 3. Микрокремнезем данной марки является отходом производства ферросилиция, содержащий пылевидные частицы размером от 0,87 мкм до 76,06 мкм. Микрокремнезем вводили в бетонные смеси на этапе смешивания крупного и мелкого заполнителя с цементом.

Таблица 3 - Химический состав микрокремнезема МКУ-95 в соответствии со спецификацией

Компонент	Содержание, мас.%, не более
SiO ₂	97,00
P ₂ O ₅	0,49
MgO	0,48
Al ₂ O ₃	0,12
Fe ₂ O ₃	0,22
SO ₃	0,20
CaO	0,26
Na ₂ O + K ₂ O	1,04
H ₂ O	0,19

В ряде экспериментов использовали активированный микрокремнезем. Активацию проводили методом электролиза (прибор «Мелеста», производитель ООО «МВП») с применением электродов: катод, выполненный из нержавеющей стали, анод – из титана покрытого оксидом рутения. В прибор заливали водопроводную воду в объеме 0,8л и проводили электролиз в соответствии с паспортными данными прибора до температуры нагревания воды 35°C.

Для повышения трещиностойкости бетонов в бетонную смесь вводили микроармирующие компоненты – полипропиленовую фибру или рубленое базальтовое волокно (ООО «Европолис», г. Дубна, Московская область) на этапе сухого перемешивания вяжущего (портландцемента) совместно с мелким и крупным заполнителем. Характеристики микроармирующих компонентов приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики микроармирующих компонентов

№ п/п	Характеристика	Фибра полипропиленовая	Рубленое базальтовое волокно
1	Длина отрезка, мм	13...14	12
2	Диаметр единичного волокна, мкм	63	17
3	Плотность, г/см ³	0,89	2,65
3	Температура плавления, °С	165	1450
4	Удлинение при разрыве, %	25...40	1,2...3,5
5	Стойкость к щелочам и коррозии	невысокая	высокая
6	Прочность на растяжение, R, МПа·10 ³	0,55	3,1...3,6
8	Модуль упругости F _т , МПа·10 ³	3,2	100...124

Процессы физико-химической активации микрокремнезема водой, обработанной методом электролиза, основанного на ее обработке для получения католита и анолита. Для испытания гидрофизических характеристик использовались следующие методики и оборудование: определение марки морозостойкости в климатической камере WK3 180/40, водонепроницаемости в установке УВБ-МГ4.01, водопоглощение при помощи электрической цифровой печи СНОЛ.

Для повышения стойкости строительных изделий и конструкций в суровых условиях эксплуатации необходимо также улучшить гидрофизические свойства бетона, такие как водонепроницаемость и водопоглощение, и морозостойкость которые значительно повышают долговечность и безотказный срок службы конструкций.

Для определения водопоглощения и водонепроницаемости были подготовлены образцы-цилиндры диаметром 150 мм и высотой 100 мм из исследуемых бетонных смесей, исходя из того, что наибольшая крупность зерен заполнителя равна 20 мм. Водопоглощение определяли путем взвешивания предварительно насыщенных водой образцов-цилиндров через каждые 24 часа до момента, когда два последовательных результата взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1 %. Водонепроницаемость определялась методом «мокрого пятна». Для каждого исследуемого состава было подготовлено по 6 образцов, которые хранили на решетке над водой (в камере нормального твердения) с температурой $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха $95 \pm 5\%$, а затем предварительно выдерживали перед проведением испытаний в течение 1 суток на воздухе с температурой $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Процесс проведения испытаний, в виде повышения давления воды, происходил путем нагружения ступенями с шагом 0,2 МПа в течение 1-5 минут и длительностью нагружения на каждой ступени 12 ч. Водонепроницаемость каждого образца-цилиндра оценивалась фиксированием максимального значения давления воды, при котором на торцевой поверхности образца, противоположной его поверхности, через которую под давлением подавалась вода, не наблюдалось ее просачивание через тело образца в виде проявления мокрого пятна или признаков фильтрации воды в виде капель. Для определения водонепроницаемости серии бетонных образцов, оценивалось максимальным давлением воды, при котором не менее чем на четырех образцах из шести, не наблюдалась фильтрация воды.

Для проведения испытаний на морозостойкость применялся первый базовый метод при многократном замораживании и оттаивании в водонасыщенном состоянии в соответствии с методикой, в которой установлены условия испытания: вода для насыщения и оттаивания с температурой $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и с температурой замораживания минус $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Определение марки морозостойкости бетона проводились на образцах с ребрами $100 \times 100 \times 100$ мм в возрасте 28 суток. При этом строго соблюдался режим испытания – время замораживания образцов не менее 2,5 часов и оттаивание на протяжении $2 \pm 0,5$ часов; при появлении сколов, трещин и шелушения ребер в процессе испытания образца - исследование прекращалось.

Результаты исследования и их анализ

Результаты испытаний на водопоглощение и водонепроницаемость бетона представлены в таблице 5. Анализ полученных данных таблицы 5 показывает, что бетон в

состав которых входит активированный микрокремнезем совместно с базальтовым волокном (состав 5) имеет пониженные показатели водопоглощения в сравнении с контрольным (состав 1) на 57%. Водонепроницаемость модифицированного бетона (состав 5) повысилась на 6 марок (ступеней нагружения) в сравнении с контрольным составом бетона (без модификаторов состав 1), на 4 ступени относительно составов без волокна (составы №2, 3) и на 2 ступени относительно состава с полипропиленовой фиброй (состав №4).

Таблица 5 - Результаты испытаний на водопоглощение и водонепроницаемость бетона

№ Состав	Модификатор, % от массы цемента для микрокремнезема и % от объема для волокна	Водопоглощение, %	Водонепроницаемость образцов, МПа	Марка бетона по водонепроницаемости
1	Контрольный, без модификаторов	3,5	0,8	W8
2	МКУ-95, 15%	2, 3	1,0	W10
3	Активированный МКУ-95, 15%	2,15	1,0	W10
4	Активированный МКУ-95, 15%; Полипропиленовая фибра, 0,75%	2,1	1,2	W12
5	Активированный МКУ-95, 15%; Базальтовое волокно, 0,75%	2,0	1,2	W14

Повышение гидрофизических свойств объясняется повышением качества структуры модифицированного цементного камня и бетона на его основе в присутствии комплексного модификатора (высоководоредуцирующая добавка «MasterGlenium 115» плюс реакционно-химическая добавка микрокремнезем марки МКУ-95) совместно с базальтовым волокном, за счет дробления макропор под действием ПАВ («MasterGlenium 115») уменьшается развитие капиллярных трещин, развивается микропористость с размерами пор 0,1 мкм, то есть близкая к контракционной, что согласуется с выводами работ [1-3,21-22].

Результаты испытаний на морозостойкость исследуемых бетонов приведены в таблице 6 и на рисунке 1.

Таблица 6 - Результаты испытания бетонов на морозостойкость

№ Состав	Модификатор, % от массы цемента для микрокремнезема и % от объема для волокна	Потеря массы образца, %, после циклов						K _{мрз} после циклов					
		200	300	400	500	550	600	200	300	400	500	550	600
1	Контрольный, без модификаторов	0,9	1,7	3,2	-	-	-	1,02	0,98	0,91	-	-	-
2	МКУ-95 15%	0,5	1,1	2,0	3,4	5,3	-	1,05	1,01	0,97	0,90	0,71	-
3	Активированный МКУ-95 15%	0,4	0,9	1,6	2,8	4,9	-	1,06	1,02	0,99	0,93	0,78	-
4	Активированный МКУ-95 15%; Полипропиленовая фибра 0,75%	0,2	0,5	1,1	1,9	2,5	3,3	1,09	1,06	1,01	0,97	0,91	0,87
5	Активированный МКУ-95 15%; Базальтовое волокно 0,75%	0,1	0,3	0,5	1,2	1,6	1,9	1,11	1,08	1,04	1,0	0,96	0,92
K _{мрз} – отношение показателя прочности образца после испытания его морозостойкости к прочности образца материала в водонасыщенном состоянии до определения морозостойкости.													

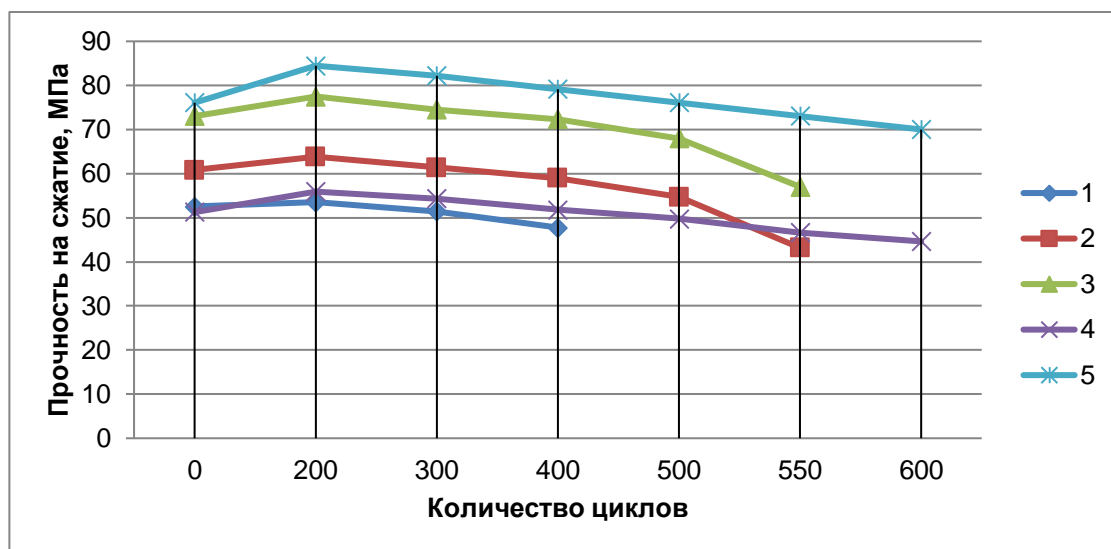


Рисунок 1 - Графическая интерпретация результатов испытаний образцов тяжелого бетона на морозостойкость:

1 – контрольный состав; 2 – МКУ-95, расходом 15%; 3 – активированный МКУ-95, расходом 15%; 4 – активированный МКУ-95, расходом 15%, полипропиленовая фибра, расходом 0,75%; 5 – активированный МКУ-95, расходом 15%; базальтовое волокно, расходом 0,75%

Анализ данных по морозостойкости позволил сделать следующие выводы:

- полученные результаты испытаний контрольного (состава 1) бетона показали, что начиная с 350-400 циклов в образцах отмечалось снижение массы до 4% и кубиковой прочности на 10%.
- при циклах равным 550-600 глубина разрушения образцов с полипропиленовым волокном и активированным микрокремнеземом (состав 4) становилась критической, которая понизила прочностные характеристики более чем на 13%, а снижение массы достигает 3,3%.
- высокая морозостойкость (состав 5) с оптимальным расходом активированного микрокремнезема марки МКУ-95 с расходом 15% и базальтового волокна 0,75% характеризуется потерей массы до 1,9% и прочности на 8% при 600 циклах испытания, что обусловлена созданием замкнутой мелкопористой структуры цементного камня и высокой его водонепроницаемостью [22].

Выводы

На основании представленных результатов исследований можно сделать следующее заключение:

1. Экспериментально доказано улучшение гидрофизических свойств модифицированного состава бетона в сравнении с контрольным: водопоглощение – 2%; марка по водонепроницаемости – W14; морозостойкость – F600 с потерей массы до 1,9% и прочности на 8%, что обусловлено получением мелкопористой структуры цементного камня с образованием пор до 0,1 мкм.
2. Установлено, что предлагаемое модифицирование комплексной добавкой совместно базальтовым волокном, позволяет получить тяжелый бетон высокого качества с улучшенными гидрофизическими свойствами: водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость, что дает возможность рекомендовать его для производства строительных изделий и конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lam T.Q.K, Do T.M.D, Ngo V.T, Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of civil engineering. 2020. № 1 (93). С. 27-34.
2. Teramoto A., Maruyama I., Mitani Y. Influence of silica fume additive and temperature history on the volume change of ultra-high-strength cement paste and concrete // Advances in civil engineering materials. 2019. № 3. С. 153-172.
3. Kherraf L., Abdelouehed A., Belachia M., Hebhouh H. Effects of the incorporation of combined additions in cement on the properties of concretes // International review of civil engineering. 2018. № 1(9). С. 31-39.
4. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Т.К. Реологические особенности цементно-минеральных систем, пластифицированных поликарбоксилатным пластификатором // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3(40). С. 24-34.
5. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лушникова А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 2. С.47-51.
6. Zhao Y., Ding P., Ba C., Tang A., Song N., Liu Y., Shi L. Preparation of TiO₂ coated silicate microspheres for enhancing the light diffusion property of polycarbonate composites // Displays. 2014. № 4 (35) С. 220-226.
7. Антипов А. А., Аракелян С.М., Кутровская С.В., Кучерик А.О., Ногтев Д.С., Прокошев В.Г. Осаждение металлических наночастиц из коллоидных растворов импульсно-периодическим лазерным излучением // Перспективные материалы. 2011. №10. С. 200-205.
8. Баженов Ю.М., Александрова О.В., Нгуен Д.К., Булгаков Б.И., Ларсен О.А., Гальцева Н.А., Голотенко Д.С. Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама // Строительные материалы. 2020. №3. С.32-38.
9. Liu W., Tan H., Ni C., Chen Z., Luo T., Yu L. Effect of silica fume and fly ash on compressive strength and weight loss of high strength concrete material in sulfuric and acetic acid attack // Key engineering materials. 2017. № 748. С.301-310.
10. Luo X., Weng Y., Wang S., Du J., Wang H., Xu C. Superhydrophobic and oleophobic textiles with hierarchical micro-nano structure constructed by sol-gel method // Journal of sol-gel science and technology. 2019. № 3. С. 820-829.
11. Massana, J., Reyes, E., Bernal, J., Leon, N., Sanchez-Espinosa, E. Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete // Construction and Building Materials. 2018. № 165. С. 93-103.
12. Sun X., Gao Z., Cao P., Zhou C. Mechanical properties tests and multiscale numerical simulations for basalt fiber reinforced concrete // Construction and building materials. 2019. № 202. С. 58-72.
13. Attia K., Elrefai A., Alnahhal W., Rihan Y. Flexural behavior of basalt fiber-reinforced concrete slab strips reinforced with bfrp and gfrp bars // Composite structures. 2019. № 211. С. 1-12.
14. Afroz M., Patnaikuni I., Venkatesan S. Chemical durability and performance of modified basalt fiber in concrete medium // Construction and building materials. 2017. № 154. С.191-203.
15. Хозин В.Г., Красникова Н.М., Морозов И.М., Хохряков О.В. Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2 (28). С.166-172.
16. Ключев А.В., Ключев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном //Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С.67-72.
17. Шуляков К.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Мамаев Н.А. Влияние добавки "микрокремнезем-поликарбоксилатный суперпластификатор" на гидратацию цемента, структуру и свойства цементного камня // Цемент и его применение. 2013. № 2. С. 114-118.
18. Бахир В.М., Атаджанов А.Р., Мамаджанов У.Д., Алехин С.А., Мариампольский Н.А., Наджимитдинов А.Х. Активированные вещества. Некоторые вопросы теории и практики // Изв. АН УзССР. Сер. техн. Наук. 1981. № 5. С. 68-72
19. Бахир В.М., Задорожний Ю.Г., Леонов Б.И., Паничева С.А., Прилуцкий В.И. Электрохимическая активация: универсальный инструмент зеленой химии. М.: Маркетинг Саппорт Сервисиз, 2005. 176 с.
20. Петрушанко И. Ю., Лобышев В. И. Физико-химические свойства водных растворов, полученных в мембранном электролизере // Биофизика. 2004. №1 (49). С. 22 -31.
21. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
22. Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф., Ткач С.А., Тоимбаева Б.М., Сейдинова Г.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами // Фундаментальные исследования. 2014. № 8-3. С. 590-595.

REFERENCES

1. Lam T.Q.K, Do T.M.D, Ngo V.T, Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers. *Magazine of civil engineering*. 2020. Vol. 93. No. 1. Pp. 27-34.
2. Teramoto A., Maruyama I., Mitani Y. Influence of silica fume additive and temperature history on the volume change of ultra-high-strength cement paste and concrete. *Advances in civil engineering materials*. 2019. No. 3. Pp. 153-172.
3. Kherraf L., Abdelouehed A., Belachia M., Hebhouh H. Effects of the incorporation of combined additions in cement on the properties of concretes. *International review of civil engineering*. 2018. Vol. 9. No. 1. Pp. 31-39.
4. Inozemtsev A.S., Korolev E.V., Zyong T.K. Reologicheskie osobennosti cementno-mineral'nyh sistem, plastificirovannyh polikarboksilatnym plastifikatorom [Rheological features of cement-mineral systems with a polycarboxylate plasticizer]. *Regional architecture and engineering*. 2019. Vol. 40. No. 3. Pp. 24-34. (rus)
5. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Buryanov A.F., Pudov I.A., Lushnikova A.A. Modifikatsiya cementnyh betonov mnogoslojnymi uglerodnymi nanotrubkami [Modification of cement concretes with multilayer carbon nanotubes]. *Stroitel'nye materialy [Construction materials]*. 2011. No. 2. Pp. 47-51. (rus)
6. Zhao Y., Ding P., Ba C., Tang A., Song N., Liu Y., Shi L. Preparation of TiO₂ coated silicate microspheres for enhancing the light diffusion property of polycarbonate composites. *Displays*. 2014. Vol. 35. No. 4. Pp. 220-226.
7. Antipov A.A., Arakelyan S.M., Kutrovskaya S.V., Kucherik A.O., Nogtev D.S., Prokoshev V.G. Osazhdenie metallicheskih nanochastich iz kolloidnyh rastvorov impul'sno-periodicheskim lazernym izlucheniem [Deposition of metal nanoparticles from colloidal solutions by repetitively pulsed laser radiation]. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2011. No. 10. Pp.200-205. (rus)
8. Bazhenov Yu.M., Alexandrova O.V., Nguyen D.K., Bulgakov B.I., Larsen O.A., Galtseva N.A., Golotenko D.S. Vysokoprochnyj beton iz materialov V'etnama [High-performance concrete produced with locally available materials of Vietnam]. *Building materials*. 2020. No. 3. Pp.32-38. (rus)
9. Liu W., Tan H., Ni C., Chen Z., Luo T., Yu L. Effect of silica fume and fly ash on compressive strength and weight loss of high strength concrete material in sulfuric and acetic acid attack. *Key engineering materials*. 2017. Vol. 748. Pp. 301-310.
10. Luo X., Weng Y., Wang S., Du J., Wang H., Xu C. Superhydrophobic and oleophobic textiles with hierarchical micro-nano structure constructed by sol – gel method. *Journal of sol-gel science and technology*. 2019. No. 3. Pp. 820-829.
11. Massana, J., Reyes, E., Bernal, J., Leon, N., Sanchez-Espinosa, E. Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 165. Pp. 93-103.
12. Sun X., Gao Z., Cao P., Zhou C. Mechanical properties tests and multiscale numerical simulations for basalt fiber reinforced concrete. *Construction and building materials*. 2019. No. 202. Pp. 58-72.
13. Attia K., Elrefai A., Alnahhal W., Rihan Y. Flexural behavior of basalt fiber-reinforced concrete slab strips reinforced with bfrp and gfrp bars. *Composite structures*. 2019. No. 211. Pp. 1-12.
14. Afroz M., Patnaikuni I., Venkatesan S. Chemical durability and performance of modified basalt fiber in concrete medium. *Construction and building materials*. 2017. Vol. 154. Pp. 191-203.
15. Khozin V.G., Krasnikova N.M., Morozov I.M., Khokhryakov O.V. Optimizatsiya sostava cementnogo betona dlya aerodromnyh pokrytij [Optimization of composition of cement concrete for airfield coverings]. *News of the KSUAE*. 2014. Vol. 28. No. 2. Pp. 166-172. (rus)
16. Klyuev A.V., Klyuev S.V., Netrebenko A.V., Durachenko A.V. Melkozernistyj fibrobeton armirovannyj polipropilenovym voloknom [Fine-grained fiber-reinforced concrete reinforced with polypropylene fiber]. *Vestnik belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova]*. 2014. No. 4. Pp. 67-72. (rus)
17. Shuldyakov K.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Mamaev N.A. Vliyanie dobavki "mikrokremnezem-polikarboksilatnyj superplastifikator" na gidratatsiyu cementa, strukturu i svoystva cementnogo kamnya [Influence of the polycarboxylate superplasticizer - microsilica additive on the hydration, structure and properties of cement]. *Cement i ego primeneniye [Cement and its application]*. 2013. No. 2. Pp. 114-118. (rus)
18. Bakhir V.M., Atadzhanov A.R., Mamadzhanyov U.D., Alekhin S.A., Mariampolsky N.A., Nadzhimiddinov A.Kh. Aktivirovannyye veshchestva. Nekotorye voprosy teorii i praktiki [Activated substances. Some questions of theory and practice]. *Izvestiya AN UzSSR. Ser. tekhn. Nauk [News of the Academy of Sciences of the UzSSR. Ser. tech. Science]*. 1981. No. 5. Pp. 68-72. (rus)
19. Bakhir V.M., Zadorozhny Yu.G., Leonov B.I., Panicheva S.A., Prilutsky V.I. Elektrohimicheskaya aktivatsiya: universal'nyj instrument zelenoj himii [Electrochemical activation: a versatile tool for green chemistry]. Moscow: Marketing Support Services Publ., 2005. 176 p. (rus)

20. Petrushanko I. Yu., Lobyshev V.I. Fiziko-himicheskie svojstva vodnyh rastvorov, poluchennyh v membrannom elektrolizere [Physical and chemical properties of aqueous solutions obtained in a membrane electrolyzer]. *Biophysics*. 2004. Vol. 49. No. 1. Pp. 22 -31. (rus)

21. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high quality concrete]. Moscow: Association of building universities Publ., 2006. 368 p. (rus)

22. Soloviev V.I., Tkach E.V., Serova R.F., Tkach S.A., Toimbaeva B.M., Seydinova G.A. Issledovanie poristosti cementnogo kamnya, modificirovannogo kompleksnymi organomineral'nymi modifikatorami [Research of cement stone porosity modified by complex organic mineral modifiers]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2014. No. 8-3. Pp. 590-595. (rus)

Информация об авторах:

Ткач Евгения Владимировна

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

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов и материаловедения.

E-mail: ev_tkach@mail.ru

Темирканов Руслан Ильясович

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

аспирант кафедры строительных материалов и материаловедения.

E-mail: profit288@gmail.com

Ружило Ольга Владимировна

ООО «Холсим (Рус) СМ», Москва, Россия

технический эксперт.

E-mail: ousacheva1992@gmail.com

Information about authors:

Tkach Evgeniya V.

National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia,

doctor of technical sciences, professor, professor of the department of building materials and materials science.

E-mail: ev_tkach@mail.ru

Temirkanov Ruslan I.

National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia,

postgraduate student of the department of building materials and materials science.

E-mail: profit288@gmail.com

Ruzhilo Olga V.

LafargeHolcim (Russia), Moscow, Russia,

technical expert.

E-mail: ousacheva1992@gmail.com

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 TimesNewRoman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- 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.oreluniver.ru/science/journal/sir

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»
302030, г. Орел, ул. Московская, 77.
+79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Технический редактор О.В. Юрова
Компьютерная верстка О.В. Юрова

Подписано в печать 27.05.2021 г.
Дата выхода в свет 27.05.2021 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 7,3
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ № _____

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