



NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY  
MOSCOW STATE  
UNIVERSITY  
OF CIVIL  
ENGINEERING

## МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИИ



FORM 2022

**СТРОИТЕЛЬСТВО — ФОРМИРОВАНИЕ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**  
Сборник материалов семинара молодых ученых  
XXV Международной научной конференции  
(г. Москва, 20–22 апреля 2022 г.)



# CONSTRUCTION

THE FORMATION OF LIVING ENVIRONMENT

XXV International Scientific Conference  
on Advanced In Civil Engineering

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022  
ISBN 978-5-7264-3051-5

УДК 62+378  
ББК 38  
С86

- С86 **Строительство — формирование среды жизнедеятельности** [Электронный ресурс] : сборник материалов семинара молодых учёных XXV Международной научной конференции (г. Москва, 20–22 апреля 2022 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, управление научной политики. — Электрон. дан. и прогр. (25,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-3051-5

Сборник содержит доклады участников семинара молодых учёных, состоявшегося в рамках XXV Международной научной конференции «Строительство — формирование среды жизнедеятельности (FORM-2022).

Основной целью проведения Семинара и Конкурса молодёжных научно-технических и научно-исследовательских проектов является содействие развитию инновационной активности и реализации творческого потенциала студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных.

Для магистрантов, аспирантов и молодых учёных строительной отрасли.

*Научное электронное издание*

*Материалы публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных докладов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

*Подбор материала и ответственные за выпуск:*  
А.В. Дорошенко, К.Е. Миронов

Управление научной политики Тел. 7 (495) 287-49-14, вн. 1356;  
E-mail: DoroshenkoAV@mgsu.ru, MironovKE@mgsu.ru  
Сайт: [https://mgsu.ru/science/Nauchniye\\_meropi/](https://mgsu.ru/science/Nauchniye_meropi/)

Компьютерная верстка *К.Е. Миронова*

Для создания электронного издания использовано:  
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 06.06.2022. Объем данных 25,5 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Издательство МИСИ – МГСУ.  
Тел.: (495) 287-4914, вн. 1423, (499) 183-9190, (499) 183-9795.  
E-mail: rio@mgsu.ru

**Даты проведения** 20–22 апреля 2022 г.

**Место проведения** ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия, 129337.

**Научные направления:**

- Modern building materials
- Reliability of buildings and constructions and safety in construction
- Modelling and mechanics of building structures
- Engineering and smart systems in construction
- Global environmental challenges

**Организатор**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

**Организационный комитет**

*Председатель Оргкомитета:*

П.А. Акимов — ректор НИУ МГСУ.

*Члены оргкомитета:*

А.Р. Туснин — проректор НИУ МГСУ;

В.В. Галишникова — проректор НИУ МГСУ;

В.В. Волгин — проректор НИУ МГСУ;

Т.Б. Кайтуков — проректор НИУ МГСУ;

Г.И. Фазылзянова — проректор НИУ МГСУ;

З.М. Штымов — проректор НИУ МГСУ;

В.И. Сидоров — советник при ректорате НИУ МГСУ;

А.В. Дорошенко — начальник УНП НИУ МГСУ.

*Рабочая группа:*

Н.В. Бакаева — ответственный за научную работу ИСА;

Н.А. Гаряев — ответственный за научную работу ИЦТМС;

В.С. Канхва — ответственный за научную работу ИЭУКСН;

Н.А. Макиша — ответственный за научную работу ИИЭСМ;

С.А. Сергеев — ответственный за научную работу ИГЭС;

А.В. Алексанин — ответственный за научную работу МФ;

С.А. Шведов — начальник ОМС;

И.А. Марченко — начальник УМИП;

В.С. Евстратов — начальник ОПРНД УНП;

К.Е. Миронов — инспектор СОНИРС УНП.

*Ответственный секретарь Оргкомитета:*

А.В. Дорошенко — начальник УНП НИУ МГСУ.

XXV Международная научная конференция «Строительство — формирование среды жизнедеятельности» (FORM–2022) состоялась 20–22 апреля 2022 г. в смешанном формате в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете.

Основной целью Конференции является содействие формированию конкурентоспособного и эффективно функционирующего сектора исследований и разработок для обеспечения технологической модернизации, развития международной интеграции, опережающего развития кадрового и производственного потенциала в области архитектуры, строительства и ЖКХ; укрепление научных и деловых контактов.

Для молодых ученых в возрасте до 25 лет (включительно) был организован семинар по актуальным направлениям развития строительной науки, в рамках которого традиционно проводился Конкурс молодёжных научно-технических и научно-исследовательских проектов «Молодежные инновации». Лауреаты Конкурса награждены Дипломами I, II и III степени, а также памятными призами.

**Тематические направления семинара:**

- Современные строительные материалы
- Надежность зданий и сооружений и безопасность в строительстве
- Моделирование и механика строительных конструкций
- Инженерные и интеллектуальные системы в строительстве
- Глобальные экологические проблемы

Участниками конференции в разные годы становились молодые ученые из Армении, Белоруссии, Болгарии, Германии, Испании, Италии, Казахстана, Киргизии, Китая, Латвии, Литвы, Молдовы, Польши, США, Турции, Узбекистана, Украины, Франции, Швеции, Эстонии и др.

Проведение такой крупномасштабной конференции позволяет активно формировать новое представление о строительстве не только в традиционных рамках отрасли, но с более широкой областью профессиональной ответственности, не ограниченной этапом стройки, а с полным циклом планирования, проектирования, создания, эксплуатации и использования строительных систем — качественной, безопасной и эффективной среды и инфраструктуры жизни и деятельности человека.

Для участников молодёжного семинара участие в столь престижном мероприятии является прекрасной стартовой площадкой для начала профессиональной карьеры, воплощения своих творческих замыслов и реализации научных достижений.

# Содержание

## Секция 1. Современные строительные материалы

**А. Н. Жуков, Н. С. Жукова, А. Ф. Гордина**

ГИПСОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ТЕХНОГЕННЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ.....8

**В. Ю. Частова, Д. А. Леонова, М. И. Панфилова**

СТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОТРУБКАМИ, ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ.....13

**Э. Р. Рахматуллина, Г. Л. Сафина**

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ КОНЦЕНТРАЦИИ.....18

**А. Р. Караульная, О. А. Ларсен**

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ФИБРОБЕТОНОВ С ПЕРЕРАБОТАННЫМ ШИННЫМ КОРДОМ.....24

**К. А. Бутенко, О. А. Ларсен**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЦЦОЛАНОВЫХ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.....29

**Ю. Р. Шабаев, С. Б. Сборщиков**

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....33

**В. В. Корниенко, Ю. Г. Борисенко**

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ В АСФАЛЬТОБЕТОНАХ.....38

## Секция 2. Надежность зданий и сооружений и безопасность в строительстве

**С. А. Сазонова, А. В. Алексейцев**

ДИНАМИКА ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ.....41

**М. А. Оберемко, М. В. Кожевников, А. В. Алексейцев**

К ОЦЕНКЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ПРОСАДОК ОСНОВАНИЯ.....47

**А. А. Скворцова, Е. В. Бузаев**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ ВСКРЫТИЯ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....52

**М. В. Карандеев, А. Г. Тамразян**

УЧЁТ ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЁТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ.....57

**А. Ю. Горохов, В. И. Колчунов**

ЖИВУЧЕСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С СОСТАВНЫМИ РИГЕЛЯМИ.....62

**А. Н. Тютенкова, В. А. Люблинский**

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ОДНОСВЯЗНОЙ ДИАГРАММЫ ЖЕСТКОСТИ.....68

**В. А. Гришков, А. В. Алексейцев**

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ КОРРОЗИОННОМ ПОВРЕЖДЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК.....73

## **Секция 4. Инженерные и интеллектуальные системы в строительстве**

**М. К. Зуева, А. В. Алексанин**

ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА ОБРАЩЕНИЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ.....79

**Е. М. Железнов, П. Ю. Воробьев**

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СЦЕНАРИЯМИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ.....85

**У. С. Канивец, Ж. М. Говорова**

РЕАГЕНТНАЯ ПРЕДОБРАБОТКА МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ С ОСВЕТИТЕЛЕМ СО ВЗВЕШЕННЫМ ОСАДКОМ.....91

**А. В. Решетова, И. А. Гульшин**

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ НЕПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ.....97

**А. С. Зимина, С. М. Бороздина**

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ PR-КАМПАНИИ ДЕВЕЛОПЕРА В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ.....101

**А. А. Плетнева, М. С. Пантелеева**

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЧАСТНОГО ПАРТНЁРСТВА.....105

**В. С. Лоткин**

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕРКИ КОЛЛИЗИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....109

**Е. М. Kochenkova, S. B. Sborshchikov**

ENVIRONMENTAL PROTECTION. FEATURES OF INFORMATION MODELING AT THE STAGES OF THE HIGH-RISE BUILDING LIFE CYCLE.....115

# Секция 1. Современные строительные материалы

## ГИПСОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ТЕХНОГЕННЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

А. Н. Жуков, Н. С. Жукова, А. Ф. Гордина

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова», 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

### Аннотация

**Предмет исследования:** модификация гипсовых вяжущих комплексными минеральными добавками на основе техногенных продуктов производств. Применение отходов производства керамического кирпича и кирпичного боя в качестве модификаторов свойств гипсового вяжущего способствует частичному улучшению экологической обстановки региона и решению проблем ресурсосбережения.

**Цели:** Разработка составов гипсовых композиций с улучшенными физико-техническими параметрами, обоснование полученных результатов при помощи современных методов физико-химического анализа.

**Материалы и методы:** Строительный гипс марки Г-4 П Б, соответствующий ГОСТ 125-2018, портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ400 Д0) по ГОСТ 31108-2020, техногенные продукты – керамическая пыль и дегидратированная глина. Испытания образцов-балочек проводились согласно стандартной методике по ГОСТ 23789-2018. Испытания на прочность проводились на гидравлическом прессе ПГМ-100 МГ 4. Для интерпретации полученных результатов проводился инфракрасный анализ с помощью ИК-Фурье спектрометра IRAffinity-1 в области частот  $4000-400\text{ см}^{-1}$  в проходящем свете, а также рентгеновский микроанализ на микроскопе MIRA3 TESCAN.

**Результаты:** В ходе проведенных исследований было доказано, что введение в состав гипсового вяжущего 0,5% керамической пыли и 5% портландцемента обеспечивает прирост прочности на 37,1% по сравнению с контрольным составом. Введение 0,6% дегидратированной глины и 5% цемента приводит к росту прочности при сжатии на 52,4%. Эффективность влияния добавки обусловлена степенью дисперсности частиц модификатора. Улучшение механических параметров композиций связано с изменением морфологии модифицированной матрицы за счет формирования в структуре аморфных продуктов на основе гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, образование которых подтверждено результатами физико-химических исследований.

**Выводы:** Применение техногенных продуктов производств позволяет решить часть проблем энерго- и ресурсосбережения и экологичности, являющихся актуальными на сегодняшний день. Разработанное вяжущее возможно использовать при изготовлении перегородочных плит и панелей, применяемых в помещениях с нормальной влажностью.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным является вопрос утилизации техногенных продуктов, в больших количествах образующихся на промышленных предприятиях, а также при сносе или реконструкции зданий. Применение отходов при создании композиционных строительных материалов позволяет получить материал с улучшенными параметрами, а также решить часть проблем энерго- и ресурсосбережения.



Гипсовые вяжущие находят широкое применение при изготовлении строительных изделий различного назначения, однако область применения данного типа вяжущих существенно ограничивается ввиду низкой прочности и водостойкости изделий. Перспективным направлением является модификация вяжущих на основе сульфата кальция комплексными добавками на основе техногенных продуктов.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Существуют исследования, направленные на разработку композиционных материалов с использованием техногенных продуктов на основе керамического боя и отходов производства керамического кирпича. Так применение керамического боя в качестве заполнителя при производстве бетонов позволяет получить легкий бетон с повышенными показателями прочности [1] или придать материалу новые свойства, например, жаростойкость [2]. В то же время керамический бой возможно применять в качестве модификатора свойств гипсовых вяжущих [3], регулируя процессы структурообразования.

Большое количество алюмосиликатных продуктов, включая керамическую пыль и дегидратированную глину, образуется на предприятиях по производству керамического кирпича. Благодаря наличию в составе оксидов кремния и алюминия добавка способствует формированию в структуре гипсового камня малорастворимых новообразований, что приводит к повышению прочности и улучшению физико-технических параметров [4-6].

Таким образом, целью работы явилось исследование влияния комплексных добавок на основе портландцемента и алюмосиликатных техногенных модификаторов на физико-технические характеристики гипсового вяжущего.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальных исследований применялись следующие материалы:

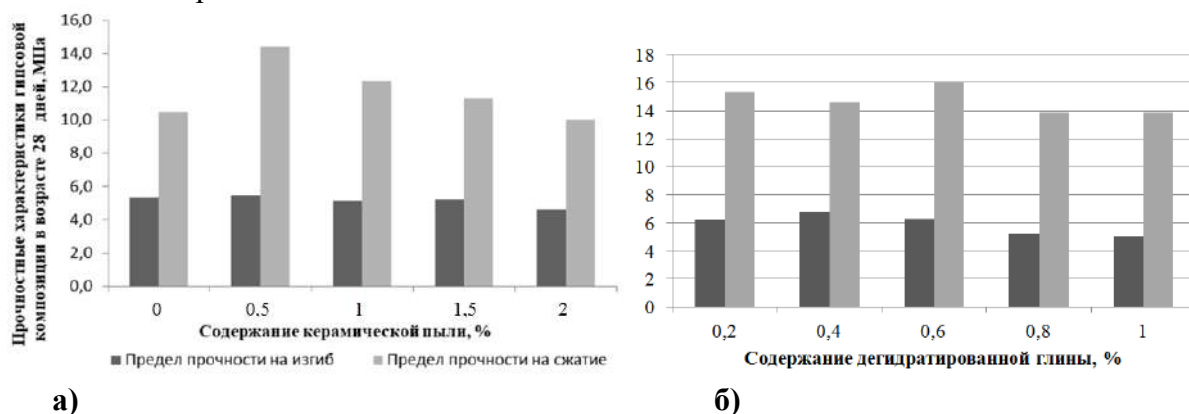
1. Строительный гипс марки Г-4 П Б, соответствующий ГОСТ 125-2018, производства ООО «Гипсополимер», г. Пермь;
2. Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ400 Д0), соответствующий ГОСТ 31108-2020, производства ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод» г. Магнитогорск;
3. Керамическая пыль – продукт дробления керамического боя. Дробление производилось при помощи щековой дробилки ШД-6 с последующим измельчением в дисковом истирателе ИД-200 и просеиванием через сито 0,01, средний размер частиц добавки составил 27,3 мкм. Химический состав добавки представлен оксидами алюминия и кремния.
4. Дегидратированная глина – отход производства керамического кирпича Ижевского завода керамических материалов, г. Ижевск. Состав добавки представлен, в основном, оксидом кремния и ортоклазом, средний размер частиц добавки составил 0,06 мкм;

Для определения прочностных характеристик изготавливались образцы-балочки размерами 4×4×16 см по 3 образца каждого состава. Образцы выдерживались в формах в течение 20-30 минут, после чего распалубливались и хранились в нормальных условиях в течение 28 суток. Испытания на прочность проводились на гидравлическом прессе ПГМ-100 МГ 4. Для интерпретации полученных результатов проводился инфракрасный анализ с помощью ИК-Фурье спектрометра IRAffinity-1 в области частот 4000-400 см<sup>-1</sup> в проходящем свете, а также рентгеновский микроанализ на микроскопе MIRA3 TESCAN в исследовательском центре AdMaS технического университета Брно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

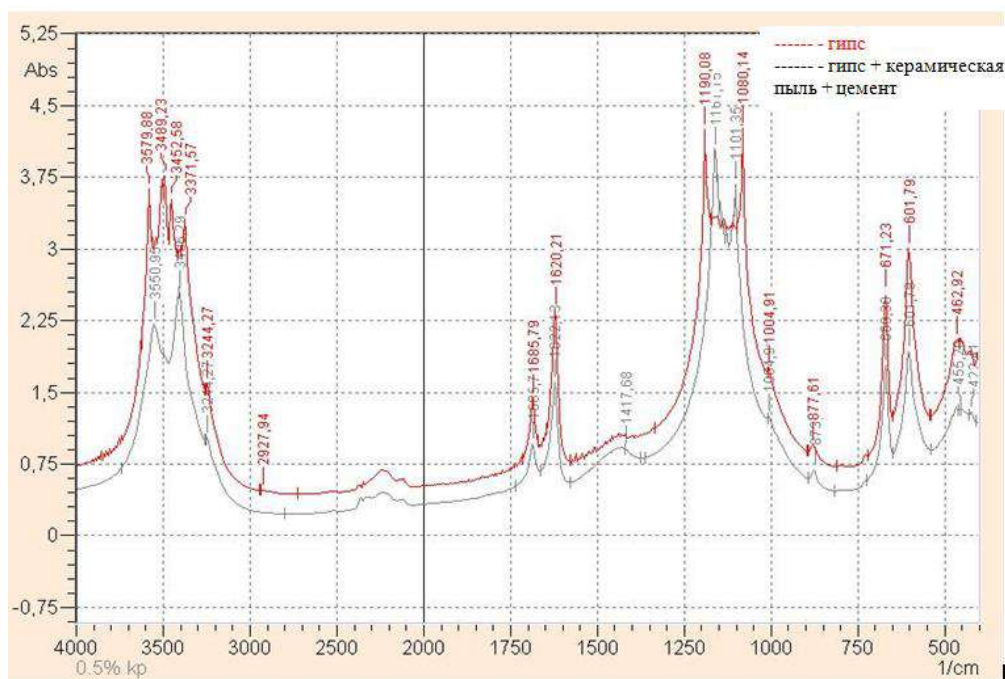
Ранее проведенные исследования [7] показали, что для достижения положительного результата необходима активация техногенного продукта. Наиболее эффективным способом активации является совместное введение добавки и портландцемента в количестве 5% от массы вяжущего. Применяемые в данном исследовании техногенные добавки –

дегидратированная глина и керамическая пыль – схожи по составу и происхождению, в связи с чем предполагается схожий принцип их действия. Концентрация добавки определялась, исходя из степени дисперсности. Для определения оптимальной концентрации добавки были проведены физико-механические испытания образцов в возрасте 28 суток. Результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Прочностные характеристики гипсовых композиций: (а) – с введением керамической пыли и портландцемента; (б) – с введением дегидратированной глины и портландцемента

Из приведенных зависимостей видно, что оптимальное содержание керамической пыли составляет 0,5%, прирост прочности при сжатии при этом достигает 37,1%; оптимальное содержание дегидратированной глины – 0,6%, прирост прочности при сжатии – 52,4%. Оптимальная концентрация алюмосиликатных модификатор близка, но эффективность с точки зрения воздействия на механические параметры матрицы более высокая у дегидратированной глины, что вероятно, обусловлено более высокой дисперсностью добавки. Рост прочностных показателей, вероятно, связан с формированием в структуре вяжущего новообразований на основе гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.



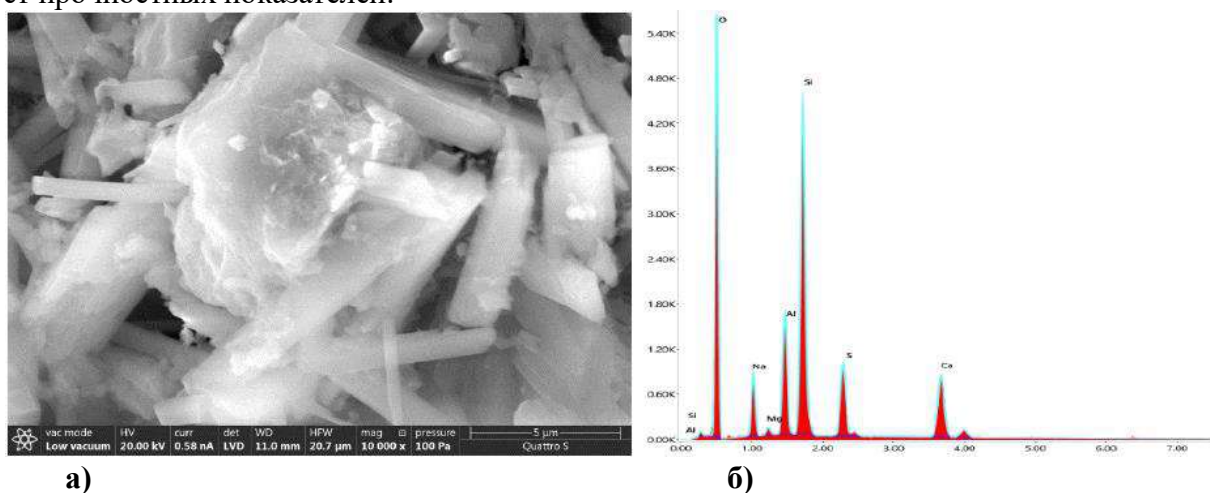
**Рис. 2.** ИК-спектр гипсовых композиций

Для изучения происходящих физико-химических процессов полученные композиции, характеризующиеся наибольшим ростом механических параметров в сравнении с контрольным составом, были проанализированы с помощью ИК-спектрометра. Проведенный

ИК-спектральный анализ составов позволил установить характеристические волновые числа основных группировок гипсового камня, такие как: симметричные и асимметричные валентные колебания ОН-групп (волновые числа 3200-3600 см<sup>-1</sup>), деформационные колебания молекул Н<sub>2</sub>О (1685,79 см<sup>-1</sup>; 1620,21 см<sup>-1</sup>), сульфатные группы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (1190,08 и 1080,14 см<sup>-1</sup>, 671,23 см<sup>-1</sup>, 601,79 см<sup>-1</sup>), карбонатные группы CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (1435 см<sup>-1</sup> и 877,51 см<sup>-1</sup>), оксиды металлов (462,92 см<sup>-1</sup>).

При сравнении ИК-спектра гипсовой матрицы без добавок и ИК-спектра гипсовой матрицы с добавлением керамической пыли и портландцемента (рис. 2.) можно отметить, что происходят сдвиги волновых чисел и рост относительной интенсивности пиков, связанных с наличием сульфат-ионов и обусловленных наличием валентных колебаний ОН-групп, что говорит об участии добавки в формировании кристаллогидратов в структуре гипсовой матрицы.

Для определения морфологии и химического состава новообразований был проведен рентгеновский микроанализ композиций, содержащих 0,5% керамической пыли и 5% портландцемента. На снимке (рис. 3,а) видны включения аморфных продуктов твердения, обволакивающих призматические кристаллы гипса. Проведенный рентгеновский микроанализ (рис. 3,б) фрагмента с включениями керамической пыли показал наличие атомов кремния Si, алюминия Al и кислорода O, что свидетельствует о формировании в структуре материала аморфных продуктов гидратации на основе гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Малорастворимые новообразования уплотняют структуру гипсового композита, связывая кристаллогидраты сульфата кальция в плотные конгломераты, таким образом обеспечивая рост прочностных показателей.



**Рис. 3.** Рентгеновский микроанализ гипсовой композиции: (а) – фрагмент микроструктуры с включениями керамической пыли; (б) – химический состав фрагмента

Проведенные исследования физико-химических свойств материала подтверждают результаты физико-механических испытаний и доказывают связь роста прочностных характеристик с формированием в структуре матрицы аморфных продуктов на основе гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, связывающих кристаллы двуводного сульфата кальция в блоки.

## ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: введение в состав гипсового вяжущего комплексных добавок на основе портландцемента (5%) и алюмосиликатных техногенных продуктов (0,5% керамической пыли и 0,6% дегидратированной глины) приводит к повышению прочностных характеристик на 37,1% и 52,4% соответственно. Эффективность влияния добавки обусловлена степенью дисперсности частиц модификатора. Улучшение механических параметров композиций связано с

изменением морфологии модифицированной матрицы за счет формирования в структуре аморфных продукты на основе гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, образование которых подтверждено результатами физико-химических исследований. Кроме того, применение техногенных продуктов производств позволяет решить часть проблем энерго- и ресурсосбережения и экологичности, являющихся актуальными на сегодняшний день. Полученное вяжущее возможно использовать при изготовлении перегородочных плит и панелей, применяемых в помещениях с нормальной влажностью.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-3391.2022.4.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аласханов А.Х. Рациональная утилизация вторичного заполнителя из керамического кирпичного боя в производстве легких бетонов // Университетская наука. – 2021. – № 2(12). – С. 10-12.
2. Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Курбанов Р.М.-Н., Казиев К.В., Котиков М.У., Токмаков Т.Б. Жаростойкие базальтовые бетоны на активированном вяжущем с применением боя керамического кирпича // Сборник научных трудов национальной университетской научно-практической конференции, приуроченной к 85-летию со дня основания Кабардино-Балкарского государственного университета. 2018. С. 82-88.
3. Said Beldjilali, Abdelkader Bougara, José Aguiar, Nasr-Eddine Bouhamou, Rawia Dabbebi. Properties of a new material based on a gypsum matrix incorporating waste brick. *Construction and Building Materials*. Volume 259. 2020. С. 120-126 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120416>.
4. Грызлов В.С., Фоменко А.И., Каптюшина А.Г., Чорная Т.Н. Сухие строительные смеси на основе местных сырьевых ресурсов // Сухие строительные смеси. 2020. № 2. С. 20-23.
5. Рахимов Р. З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Композиционное гипсовое вяжущее с добавками извести и керамзитовой пыли // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31-2(50). С. 149-155.
6. Халиуллин М. И., Файзрахманов И.И. Влияние молотого известняка на свойства композиционного гипсового вяжущего с применением термоактивированной глины в качестве пуццоланового компонента // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3(45). С. 203-209.
7. Неганова У.А., Зарипова Р.И., Баженова И.С., Гордина А.Ф. Исследование влияния керамической пыли на свойства гипсового вяжущего // Научно-исследовательские решения современной России в условиях кризиса : Материалы XXVI Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х ч., Ростов-на-Дону, 28 декабря 2020 года. – Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП); ООО "Издательство ВВМ". 2020. С. 378-383.



# СТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОТРУБКАМИ, ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ

В. Ю. Частова, Д. А. Леонова, М. И. Панфилова

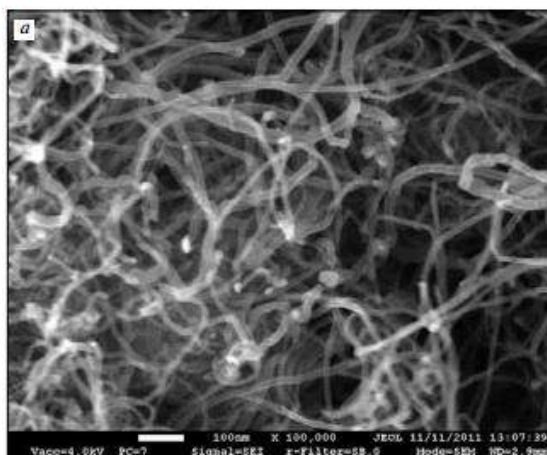
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

Современным методом увеличения прочности, долговечности и снижения деформационных свойств материалов является применение углеродных наночастиц нанотрубок, имеющих высокие механические свойства. Поэтому новым приемом регулирования характеристик бетонных смесей и бетонов есть управление структурообразованием цементного бетона на наноуровне. Самым перспективным регулированием свойств цементной матрицы, как показывает опыт применения нанотехнологий, является применение многослойных углеродных нанотрубок. Они обладают свободными химическими связями, благодаря чему могут обеспечивать лучшее сцепление бетонной смеси и заполнителя. Так происходит повышение прочности изделий из этого материала. Также они могут быть центрами направленной кристаллизации. [1-3].

Нанотрубки оказывают влияние на кинетику химических реакции и параметры структуры цементного камня, что обеспечивает повышение показателей эксплуатационных свойств изделий на его основе [4].

Закрытая углеродная нанотрубка представляет собой форму цилиндра (рис.1), боковая поверхность которого сложена из шестиугольников, как в гексагональной кристаллической решетке графита, и которая в большинстве случаев заканчивается полусферической головкой, рассматриваемой как половина молекулы фуллерена. В наше время появилась возможность открывать концы нанотрубок и превращать их в миниатюрные капилляры [5]. Углеродные нанотрубки имеют диаметр в несколько нанометров, а длину до нескольких сантиметров, поэтому их количество, необходимое для модифицирования свойств композитного бетона, не превышает 0,2% масс.



**Рис. 1.** Многослойные углеродные нанотрубки: а – в гранулах после синтеза

Нанотрубки образуются на поверхности угольных электродов при дуговом разряде между ними. При разряде атомы углерода, испаряясь с поверхности, соединяются между собой, вследствие чего образуются нанотрубки.

Мнение ученых о микроармирующем эффекте углеродных нанотрубок едино. Повышение прочности зависит от многих факторов. Положительное влияние зависит от способа приготовления и введение их в бетонную смесь.

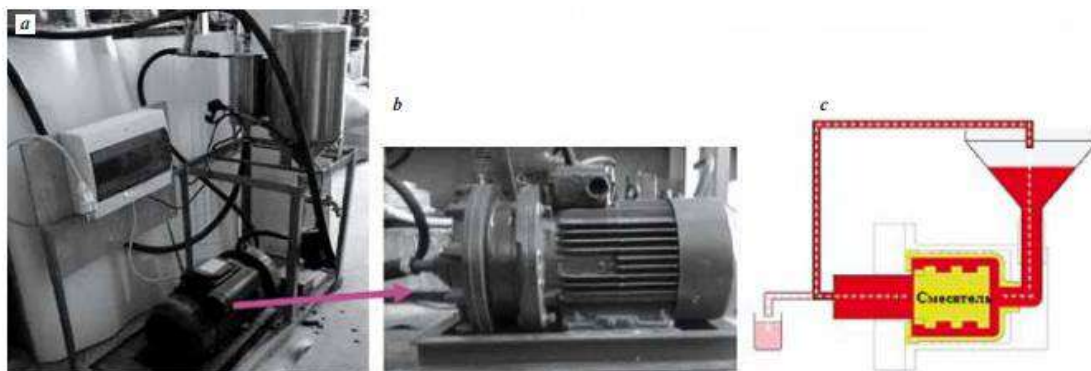
При производстве нанотрубок имеются две главные проблемы:

- предрасположенность их к слипанию, поэтому возникает сложность равномерного распределения по материалу;
- недостаточно высокая связь нанотрубок с матрицей, из-за чего не получается использовать их высокий модуль упругости и прочности при низкой плотности [3,6-8].

Процесс агломерации приводит к образованию слабо связанных агрегатов, обладающих низкой механической прочностью и выступающих в роли микродефектов [6].

Основной причиной несоответствия результатов у разных исследователей является недостаточная степень диспергации углеродных нанотрубок. Из-за недостаточного измельчения нанотрубок происходит ограниченное влияние наносистемы на структуру и свойства модифицируемой цементной матрицы. При процессе введения углеродных нанотрубок, они образуют гранулы и клубки, достигающие в размерах 400-900 мкм, обладая при этом высокой поверхностной энергией. В водной дисперсионной среде они требуют специальных технологий из-за их трудного распределения на единичные наноструктуры [9]. Для достижения наилучшего равномерного распределения наномодификатора исследователями используется ультразвуковое воздействие. Это исключает возможность их объединения в одну систему и осаждение[1]. Но, по мнению других исследований, ультразвуковая обработка не обеспечивает полное перемешивание композита, поэтому применялось предварительное механическое перемешивание[5].

Для диспергации нанотрубок была изобретена и сделана установка (рис.2) [10].



**Рис. 2.** а – общий вид установки для диспергирования углеродных нанотрубок; б – вихревой теплогенератор «ВТГ 2,2 кВт» компании ООО «ВТГ-Сервис»; в – схематочное изображение применяемого циркуляционного метода диспергирования

Известно, что углеродные наноструктуры обладают способностью самоорганизации. Это обусловлено их избыточной поверхностной энергией, за счет чего углеродные наноструктуры могут более сильно влиять на изменение структуры минеральных частиц. Можно сделать вывод, что совместное использование каустического магнезита и углеродных нанотрубок влияет на изменение строения ангидритовой матрицы сильнее, чем применение их по отдельности[11].

Результаты физических и механических свойств газосиликата, в который модифицировали углеродные нанотрубки вместе с гидроксидом алюминия, показаны в табл.1. Для приготовления добавки, содержащей нанотрубки и гидроксид алюминия, был использован гидродинамический кавитатор. Изучив, табл.1 можно сделать вывод, что модифицирование газосиликата добавкой углеродных нанотрубок и гидроксидом алюминия намного понижает теплопроводность материалов и изделий из газосиликата, но при этом происходит уменьшение средней плотности и снижение их прочности[10].

**Табл. 1.** Данные о физических свойствах модифицированного газосиликата

Наименование изделия Product name	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup> Density in dry state, kg/m <sup>3</sup>		Прочность при сжатии в сухом состоянии, МПа Compressive resistance in dry state, MPa		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м <sup>0</sup> С) Heat conduction coefficient, W/(m <sup>0</sup> С)	
	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На ЗЯБ In cellural Concrete plant	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На ЗЯБ In cellural Concrete plant	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На ЗЯБ In cellural Concrete plant
Н15.14т-8т №1 N15.14t-8t №1	574	580	3,5	3,6	0,1011	0,1288
Н15.14т-8т №2 N15.14t-8t №2	582	580	3,1	3,6	0,1089	0,1288

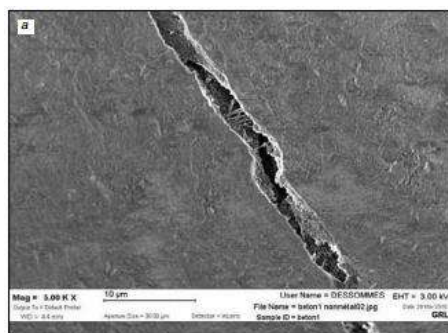
Лучший эффект мы можем достичь путем использования наномодификатора в большом количестве. В таком, чтобы покрытие, формируемое ими, было сплошное или почти сплошное. В этой ситуации углеродные нанотрубки, образуя плоскую сетку на поверхности, будут выполнять функции армирующего каркаса, который сможет уменьшить хрупкость разрушения наполнителя. Впоследствии это приведет к улучшению деформативных свойств изделий из бетона на их основе[12].

Механические показатели модифицированного нанотрубками цементного бетона улучшаются на 15-20%. Оптимальное количество углеродных нанотрубок при определении прочности на растяжение при изгибе составило 0,006% от массы цемента. Это дает увеличение прочности при изгибе на 45%, а при сжатии- 96,8%. Образцы с нанотрубками показали большое относительно содержание гидроксида кальция и пониженное содержание кальцита, это позволяет говорить о снижении карбонизации цементного камня вследствие большей плотности его структуры. Еще одним свойством нанотрубок является, что в бетоне, модифицированном ими, происходит самозарастание трещин, так как происходит стимуляции роста новообразований в дефектах цементной матрицы (рис.3) [9, 13]. Однако, предел прочности цементного камня уменьшается с течение времени (рис.4 и табл.2)[5].

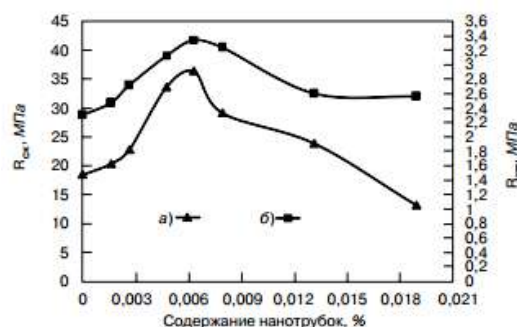
Эффективность действия углеродных наноструктур увеличится при использовании добавки, повышающей водородный показатель среды [14].

**Табл. 2.** Данные составов и предела прочности при сжатии наномодифицированного

Состав	Расход материалов, масс. %			Предел прочности при сжатии, МПа		
	Цемент	СП-1	УНТ	3 сут.	14 сут.	28 сут.
1	100	1	0	48,27	63,88	111,60
2	100	1	0,00005	71,20	79,69	112,86
3	100	1	0,00025	80,27	99,06	119,02
4	100	1	0,0005	93,03	108,10	143,29
5	100	1	0,0025	84,72	96,75	137,23
6	100	1	0,005	78,22	88,46	135,50
7	100	1	0,025	71,46	83,34	133,96
8	100	1	0,05	70,00	80,72	133,79



**Рис. 3.** Зарастающая трещина в структуре цементной матрицы, модифицированной нанотрубками



**Рис. 4.** Влияние многослойных углеродных нанотрубок GraphistrengthTM при использовании в качестве ПАВ СП-1: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности на растяжение при изгибе

Можно сделать вывод, что помимо улучшения физических свойств цементного камня использование нанотрубок дополняется экономической эффективностью[13]. Удорожание 1м<sup>3</sup> бетона всего 10-20%, но сооружения из данного материала имеют меньший вес, чем изделия из обычного бетона, следовательно, для них требуется менее мощный фундамент, что снижает стоимость строительства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Толчков Ю.Н. Применение нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве. 2012. №5. С. 53-55.
2. Федорова Г.Д., Саввина А.Е., Яковлев Г.И., Маева И.С., Сеньков С.А. Оценка полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок // Строительные материалы февраль. 2013. №2. С. 48-52.
3. Федорова Г.Д., Александров Г.Н., Смагулова С.А. Исследование устойчивости водной суспензии оксида графена // Строительные материалы. 2015. №2. С. 15-16.
4. Сураева Е.Н., Ерофеев В.Т., Королев Е.В. Исследование биостойких сухих строительных смесей, модифицированных нанотрубками углерода // Вестник МГСУ. 2015. №4. 107с.
5. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Сулейманов Н.М., Тогулев П.Н. Влияние добавки наномодификатора на основе углеродных нанотрубок на прочность цементного камня // Строительные материалы и изделия. 2011. №2. С. 185-189.
6. Бурмистров И.Н., Ильиных И.А., Мазов И.Н., Кузнецов Д.В., Юдинцева Т.И., Кусков К.В. Физико-механические свойства композитных бетонов, модифицированных углеродными нанотрубками // Современные проблемы науки и образования. 2013. №5. URL: <http://www.science-education.ru>



7. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ. 2012. №12. 128с.
8. Инновации в области наноструктурных материалов на основе цемента // Цемент и его применение. 2013. май-июнь. С. 103-108.
9. 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. 47-50.
10. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Керене Я., Полянских И.С., Пудов И.А., Хазеев Д.Р., Сеньков С.А. Комплексная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для модификации газосиликата автоклавного твердения // Строительные материалы. 2014. №2. С. 3-6.
11. Токарев Ю.В., Головин Д.В., Курьянов А.Ф., Хуйганг Тшяо О механизме влияния активных добавок на основе магнезита и углеродных нанотрубок на структуру и свойства ангидритового вяжущего // Строительные материалы. 2015. №2. С. 56-62.
12. Иноземцев А.С. Поиск эффективных методов повышения конструкционных свойств высокопрочных легких бетонов // Молодой ученый. 2015. №17. С. 133-137.
13. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Пудов И.А., Дулесова И.Г., Бурьянов А.Ф., Сабер М. Структуризация цементных вяжущих матриц многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. №11. С. 22-24.
14. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Керене Я., Спудулис Э. Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью // Строительные материалы. 2013. №2. С. 34-37.

# ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ КОНЦЕНТРАЦИИ

Э. Р. Рахматуллина, Г. Л. Сафина

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** изучение процессов фильтрации является неотъемлемой частью при создании искусственно-улучшенных оснований зданий сложных форм, которые увеличивают нагрузки на фундаменты и приводят к изменению структуры грунтов. В большинстве случаев усиление грунтов проводят с помощью струйной цементации. Твердые частицы оседают в порах грунта, это приводит к изменению структуры пористого каркаса.

**Цели:** целью работы является изучение процесса глубинной фильтрации в пористой среде с различными функциями концентрации.

**Методы:** для решения задачи используется численный метод с применением разностных схем.

**Результаты:** в работе решена задача фильтрации с тремя различными механизмами захвата частиц.

**Выводы:** при движении укрепляющей жидкости в пористой среде наиболее вероятным является блокировка пор одной частицей, в то время как образование арочных перегородок, состоящих из трех или пяти частиц, происходит существенно реже.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время инфраструктура больших городов подразумевает возведение зданий сложных форм, что приводит к увеличению нагрузок на основания в непростых геологических условиях. При строительстве фундаментов для увеличения их несущей способности необходимо использовать искусственно-улучшенные основания.

Чтобы улучшить свойства неоднородных и слабых грунтов основания все чаще применяется технология струйной цементации грунтов «jet-grouting» [2]. Метод струйной цементации грунтов зарекомендовал себя как один из самых надежных и эффективных методов укрепления почв и оснований зданий [3]. Укрепитель закачивается в пористый грунт, тем самым взвешенные твердые частицы образуют осадок. При этом изучение течения суспензии в пористой среде имеет важное значение.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Процессу фильтрации суспензии в пористой среде посвящено огромное количество научных работ. Значимый вклад в развитие данного научного направления внесли такие ученые как Бедриковецкий П. Г., Динариев О.Ю., Кочина И.Н., Мищенко И.Т., Николаевский В.Н., Турунтаев С.Б., Филиппов А.Н., Abrams A., Civan F., Darley H.C.H., Fordham E. J., Ives K. J., Kurger R.F., Longeron D.G., Payatakes A., Rege S. D., Saleh S.T. и др.

Множество работ раскрывают основные теоретические подходы к исследованию течения суспензии через пористую среду, в основе которых лежат модели глубинной фильтрации [4-8], перколяционные [9] и стохастические [10] модели. Многие авторы изучают механизмы захвата частиц и изменения проницаемости и структуры порового пространства [11].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рассматриваемой задаче используется три механизма захвата частиц. Первый – механико-геометрический (размерный), суть которого заключается в том, что твердые частицы проходят только через те поры, размер которых превышает размер частицы, в противном случае происходит закупоривание поры. Второй механизм захвата частиц предполагает сочетание размерного захвата и образование арочных перемычек, состоящих из трех частиц. Третий тип объединяет размерный механизм захвата частиц и конгломерат трех и пяти частиц, перекрывающих поры.

Рассмотрим модель глубинной фильтрации в области  $\Psi = \{0 \leq x \leq 1, t \geq 0\}$ , которая описывается системой уравнений в частных производных

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \Lambda(S)F(C), \quad (2)$$

с краевым условием

$$x = 0: C(0, t) = 1, \quad (3)$$

и начальными условиями

$$t = 0: C(x, 0) = 0; S(x, 0) = 0, \quad (4)$$

где  $C(x, t)$  – концентрация взвешенных частиц,  $S(x, t)$  – концентрация осажденных частиц,  $\Lambda(S)$  – функция фильтрации,  $F(C)$  – функция концентрации.

Линия  $t = x$  является фронтом концентраций взвешенных и осажденных частиц. В области  $\Psi' = \{0 \leq x \leq 1, t \geq 0\}$  концентрации обоих типов частиц равны нулю. В области  $\Psi'' = \{0 < x < 1, t > x\}$  концентрации положительны. Функция  $C(x, t)$  имеет разрыв вдоль фронта концентраций,  $S(x, t)$  непрерывно всюду и равно нулю при  $t = x$ .

Будем рассматривать нелинейную функцию фильтрация, представляющую собой полином третьей степени  $\Lambda(S) = \lambda_0 + \lambda_1 S + \lambda_2 S^2 + \lambda_3 S^3$ .

При  $t = x$  решение  $C(x, t)$  в случае линейной функции концентрации  $F(C) = C$  задается уравнением

$$C_0(x) = e^{-\lambda_0 x}, \quad (5)$$

в случае  $F(C) = (1 - \alpha)C + \alpha C^3$ :

$$C_0(x) = \frac{\sqrt{1 - \alpha} e^{-(1 - \alpha)\lambda_0 x}}{\sqrt{1 - \alpha} e^{-2(1 - \alpha)\lambda_0 x}}, \quad (6)$$

в случае  $F(C) = (1 - \alpha - \beta)C + \alpha C^3 + \beta C^5$ :

$$\frac{C_0^{1 - \alpha - \beta} \left( \alpha + \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta} + 2\beta C_0^2 \right)^{\frac{\alpha - \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}{4(1 - \alpha - \beta)\sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}}}{\left( \alpha - \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta} + 2\beta C_0^2 \right)^{\frac{\alpha + \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}{4(1 - \alpha - \beta)\sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}}} = \frac{\left( \alpha + \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta} + 2\beta \right)^{\frac{\alpha - \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}{4(1 - \alpha - \beta)\sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}}}{\left( \alpha - \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta} + 2\beta \right)^{\frac{\alpha + \sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}{4(1 - \alpha - \beta)\sqrt{(\alpha + 2\beta)^2 - 4\beta}}}} e^{-\lambda_0 x}. \quad (7)$$

На входе фильтра при  $x = 0$  с учетом краевого условия (3) решение  $S_0(t)$  определяется из уравнения:

$$\int_0^{S(0,t)} \frac{dS}{\lambda_0 + \lambda_1 S + \lambda_2 S^2 + \lambda_3 S^3} = t. \quad (8)$$

В случае, когда в качестве функции фильтрации рассматривается полином третьей степени, задача не может быть решена аналитически. Будем использовать один из самых популярных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных – метод конечных разностей. Рассмотрим область  $\Psi = \{0 \leq x \leq 1, 0 \leq t \leq 100\}$ . Сеточные функции  $C(x, t)$  и  $S(x, t)$  будем задавать в узловых точках, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга как по оси времени, так и по оси  $x$ , а именно с шагами  $h_t = h_x = 0.01$ .

Выбранные размеры шагов обеспечивают сходимость метода, поскольку в этом случае выполняется условие Куранта [12]. Коэффициенты функции фильтрации были получены экспериментально в работе [13]:  $\lambda_0 = 1.551$ ,  $\lambda_1 = -3.467 \cdot 10^{-3}$ ,  $\lambda_2 = -1.16 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_3 = -1.16 \cdot 10^{-7}$ . В качестве функций концентраций рассматривались функции  $F(C) = C$ ,  $F(C) = 0.1C + 0.9C^3$ ,  $F(C) = 0.1C + 0.4C^3 + 0.5C^5$ .

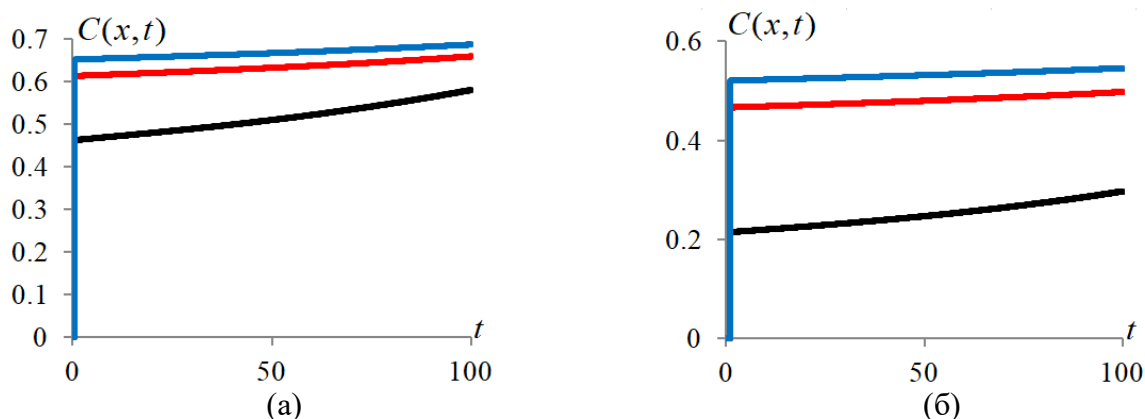
Численные расчеты были реализованы с помощью мощного математического пакета Wolfram Mathematica. Создадим нулевые массивы для хранения значений сеточных функций  $C(x,t)$  и  $S(x,t)$  отдельно для каждой функции концентрации. После этого необходимо вычислить значения массивов  $S(x,t)$  на нулевом слое при  $x=0$ , используя формулу (8), и значения массивов  $C(x,t)$  на фронте концентраций при  $t=x$ , используя выражения (5), (6) и (7). На нулевом слое при  $x=0$  значения  $C(x,t)$  удовлетворяют краевому условию (3). В результате получаем матрицы следующего вида:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_0^1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_0^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_0^3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_0^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_0^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_0^{10000} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & C_0^1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & C_0^2 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & C_0^{100} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

После чего с помощью двумерного цикла осуществляется расчет значений концентраций взвешенных и осажденных частиц в узлах сетки, расположенных ниже линии фронта концентраций.

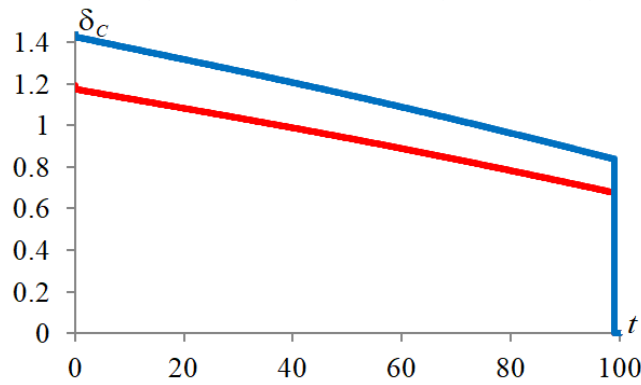
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 представлены графики концентрации взвешенных частиц при  $x=0.5$  (рис. 1а) и на выходе фильтра при  $x=1$  (рис. 1б): черная линия соответствует линейной функции фильтрации, красная линия – кубической функции фильтрации, синяя – полиному пятой степени.



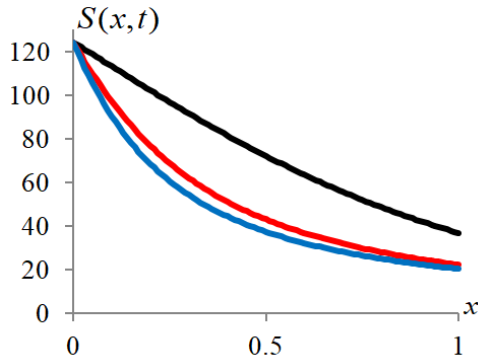
**Рис. 1.** Графики концентраций взвешенных частиц  $C(x,t)$  при  $x=0.5$  (а) и  $x=1$  (б)

На рис. 2 показаны графики относительных отклонений концентраций взвешенных частиц для моделей с двумя (красная линия) и тремя (синяя линия) механизмами захвата от модели с одним размерным механизмом при  $x=1$ .

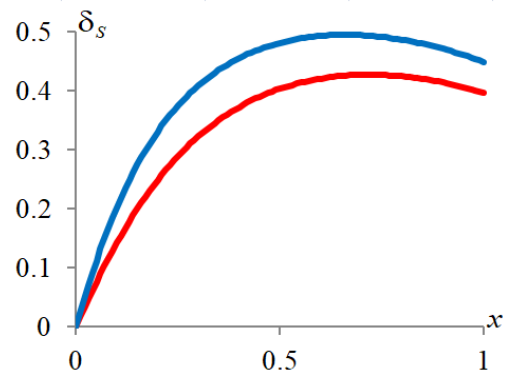


**Рис. 2.** Относительные отклонения концентраций взвешенных частиц при  $x = 1$

На рис. 3 представлены графики концентрации осажденных частиц при  $t = 100$ : черная линия соответствует линейной функции фильтрации, красная линия – кубической функции фильтрации, синяя – полиному пятой степени. На рис. 4 показаны графики относительных отклонений  $S(x,t)$  для модели с двумя (красная линия) и тремя (синяя линия) механизмами захвата от модели с одним размерным механизмом.

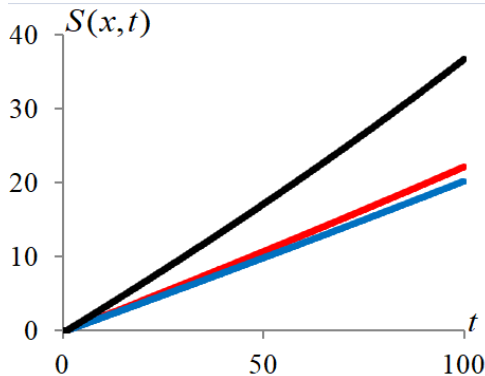


**Рис. 3.** Графики концентраций осажденных частиц  $S(x,t)$  при  $t = 100$

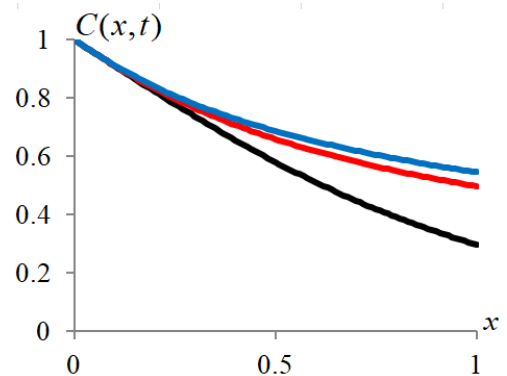


**Рис. 4.** Относительное отклонение концентраций осажденных частиц

На рис. 5 представлены графики концентраций осажденных частиц при фиксированном значении  $x = 1$ : черная линия соответствует линейной функции фильтрации, красная линия – кубической функции фильтрации, синяя – полиному пятой степени. Рис. 6 отражает графики концентрации взвешенных частиц при  $t = 100$ : черная линия соответствует линейной функции фильтрации, красная линия – кубической функции фильтрации, синяя – полиному пятой степени.



**Рис. 5.** Графики концентраций осажденных частиц  $S(x,t)$  при  $x = 1$



**Рис. 6.** Графики концентраций взвешенных частиц при  $t = 100$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приведенные выше графики показывают, что со временем происходит увеличение осадка для всех трех механизмов захвата частиц, количество взвешенных частиц уменьшается. Сводовые перемычки могут образовываться конгломерацией трех или пяти частиц. Это происходит с меньшей вероятностью, чем закупоривание пор единственной частицей. Процесс фильтрации для функций  $F(C)=0.1C+0.9C^3$  и  $F(C)=0.1C+0.4C^3+0.5C^5$  менее интенсивен, чем для линейной функции  $F(C)=C$ . Наименьшее количество осадка образуется в случае третьего типа механизма захвата частиц, т.е. для модели с функций концентрации  $F(C)=0.1C+0.4C^3+0.5C^5$ .

Максимальная относительное отклонение концентраций взвешенных частиц для модели с двумя механизмами захвата частиц от модели с одним размерным механизмом составляет приблизительно 1.2, для модели с тремя механизмами захвата частиц – 1.4. В обоих случаях этот максимум достигается на входе фильтра. Совсем иное поведение у графиков, отражающих относительные отклонения концентраций взвешенных частиц. Здесь максимальное отклонение достигается в некоторой промежуточной точке фильтра, для модели с двумя механизмами захвата частиц оно составляет 0.5, для модели с тремя механизмами захвата частиц – 0.4.

## ВЫВОДЫ

В работе рассмотрен процесс длительной глубинной фильтрации с тремя типами функций концентраций:  $F(C)=C$ ,  $F(C)=0.1C+0.9C^3$  и  $F(C)=0.1C+0.4C^3+0.5C^5$ . В первом случае блокировка поры происходит одной частицей, во втором – одной и тремя частицами, во третьем – одной, тремя или пятью частицами. Результаты исследования показывают, что образование сводовых перемычек менее вероятно, чем закупоривание пор одной частицей. Наибольшее отклонение от модели с размерным захватом частиц имеет модель с образованием арок из трех и пяти частиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голубин С.И., Савельев К.Н. Перспективные технологии повышения несущей способности грунтов в основании шельфовых сооружений и береговых объектов нефтегазового комплекса // Вести газовой науки. – 2017. – №4 (17). – С. 43–47.
2. Шашкин А.Г., Богов С.Г. Использование технологии jet grouting при устройстве подземного объема в условиях слабых глинистых грунтов // Научно-технический и производственный журнал. – 2014. – № 9. – С. 27–33.
3. Зуев С.С., Маковецкий О. А., Хусаинов И. И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов // Научно-технический и производственный журнал «Жилищное строительство»: раздел подземное строительство. – 2013. – № 9. – С. 10–13.
4. Хужаеров Б.Х. Фильтрация суспензий с образованием несжимаемого осадка и заполнением пор фильтра твердыми частицами // Инженерно-физический журнал. – 2011. – Т. 84. – №. 6. – С. 1179–1187.
5. Никаньшин Д.П., Никифоров А.И. Моделирование переноса частиц различного размера двухфазным фильтрационным потоком // ИФЖ. – 2000. – Т. 73. – № 3. – С. 497–500.
6. Safina G.L. Calculation of retention profiles in porous medium // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 170. – С. 21–28.
7. Safina G.L. Numerical solution of filtration in porous rock // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 97. – 05016.
8. Osipov Yu., Safina G., Galaguz Yu. Calculation of the filtration problem by finite differences methods // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 251. – 04021.
9. Кадет В.В. Методы теории перколяции в подземной гидромеханике. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, – 2008. – 96 с.

10. Dinariev O.Yu., Mikhailov D.N. Basics of mesoscale theory for porous materials. – Moscow: Publishing house Nedra. – 2012. – 244 с.
11. Димов С.В., Кузнецов В.В., Рудяк В.Я., Тропин Н.М. Экспериментальное изучение фильтрации микросуспензии в высокопроницаемой пористой среде // Механика жидкости и газа. – 2012. – №2. – С.47–56.
12. Courant R., Friedrichs K., Lewy H. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // Mathematische Annalen. – 1928. – № 100 (1). – С. 32–74.
13. You Z., Osipov Y., Bedrikovetsky P., Kuzmina L. Asymptotic model for deep bed filtration // Chemical Engineering Journal. – 2014. – Vol. 258. – С 354-385.



# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ФИБРОБЕТОНОВ С ПЕРЕРАБОТАННЫМ ШИННЫМ КОРДОМ

А. Р. Караульная, О. А. Ларсен

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** Вяжущие щелочной активации являются альтернативой традиционному портуландцементу, особенно по отношению количества выбросов  $\text{CO}_2$  в окружающую среду. Они обладают хорошими прочностными и эксплуатационными свойствами, плотной микроструктурой, стойкостью к воздействию высоких температур. Основными экологическими проблемами, возникающими при производстве клинкера, являются значительные выбросы парниковых газов, потребление большого количества энергии и истощение невозобновляемых природных ресурсов. Проведенные ранее исследования показали, что применение шлакощелочного вяжущего на основе тонкоизмельченного доменного гранулированного шлака в фибробетоне позволило повысить прочностные показатели прочности при растяжении за счет высокого содержания шлака и улучшения межфазного взаимодействия цементной матрицы и волокна. Однако наиболее значительным недостатком вяжущего щелочной активации с на основе гранулированного шлака является его высокая усадка. В данной работе приведены результаты исследования свойств шлакощелочного вяжущего на основе доменного гранулированного шлака и щелочного активизатора NaOH для его дальнейшего применения в качестве вяжущего в фибробетоне на основе текстильных полиамидных волокон, полученных путем переработки автомобильных шин.

**Цели:** исследование основных свойств шлакощелочного вяжущего, определение усадочных деформаций при твердении.

**Материалы и методы:** основной доменный гранулированный шлак, щелочной активизатор NaOH, вода; методы определения водопотребности, сроков схватывания, ультразвуковой метод, метод определения усадочных деформаций.

**Результаты:** исследованы свойства шлакощелочного вяжущего. В качестве активизатора твердения применялся 22% водный раствор NaOH. При это водопотребность вяжущего составила 33,5% при удельной поверхности, равной  $3400 \text{ см}^2/\text{г}$ . Истинная плотность шлака составила  $3,1 \text{ г}/\text{см}^3$ . Исследовано структурообразование вяжущего, при этом период формирования структуры составил 58 мин. Сроки схватывания составили: начало схватывания - 45 минут, конец схватывания - 1 час 45 минут. Исследована усадка шлакощелочного вяжущего, которая составила в возрасте 1 сут - 0,011%, 3 сут - 0,0402%, 7 сут - 0,0451%, 14 сут - 0,069%, 28 сут - 0,0803%, 50 сут - 0,1126%.

**Выводы:** шлакощелочное вяжущее может выступать в качестве альтернативы портуландцементному, так как не уступает по своим технологическим свойствам. Целесообразно применять для бетонных элементов, эксплуатируемых как в обычных условиях, так и в агрессивных средах.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире существует проблема истощения природных ресурсов. Одним из ее решений является применение отходов промышленности в строительном материаловедении. Так, разработка фибробетона, состоящего из шлакощелочного вяжущего на основе доменного гранулированного шлака, щелочного активизатора твердения и полиамидной фибры, полученной путем переработки шинного корда, является актуальной задачей, которая позволит решить проблему утилизации отходов и послужит инструментом для решения задач по сохранению природных ресурсов [1].



Ежегодно во всем мире образуется более 17 миллионов тонн отходов шин, которые не подходят для дальнейшего использования и подлежат дальнейшей утилизации, поэтому предполагается их использовать после переработки в технологии бетона. Данные отходы относятся к 4 классу опасности, поэтому переработка их составляющих крайне важна [2, 3].

На территории стран СНГ накоплено только металлургических шлаков около 580 млн. т. При этом в хозяйственный оборот вовлекается только 20% от их общего количества. В целом, в промышленности черной металлургии из каждых 4,7 т твердых материалов, необходимых для производства 1 т стали, отходы составляют примерно 0,4 т.

Шлакощелочное вяжущее получают путем совместного измельчения гранулированных доменных шлаков совместно со щелочным активизатором или затворением молотых шлаков растворами щелочных металлов, таких как NaOH [4].

Использование в технологии бетона системы вяжущего, активированного щелочью, является все более актуальным, так как наряду с экологическим аспектом, а именно, сокращением выбросов CO<sub>2</sub> при производстве, все большее значение приобретает улучшение специальных свойств бетона, достигаемое при их применении [4].

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Шлакощелочные вяжущие известны с 60-х гг. XX в. благодаря широким исследованиям В.Д. Глуховского и его учеников. В 60-70 годах XX века производство бетонов на шлакощелочном вяжущем было развито во многих городах Советского Союза. К середине 80-х годов прошлого века по ряду причин применение шлакощелочных вяжущих резко сократилось, что привело к снижению интереса в научных исследованиях. На рубеже веков стала актуальной проблема рационального использования природных ресурсов и утилизации отходов промышленности [5]. В связи с этим появляется необходимость рассмотрения вопроса об использовании шлакощелочного вяжущего в настоящее время.

Шлакощелочное вяжущее не уступает по своим свойствам портландцементу, а в некоторых случаях превосходит по техническим характеристикам. Так, сроки схватывания шлакощелочного вяжущего составляют: начало схватывания 40 минут; конец схватывания 3 часа 30 минут. При этом прочность таких вяжущих находится в пределах 40 МПа [6].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе применялись следующие материалы:

- доменный гранулированный шлак производства ООО «Мечел-Материалы» с химическим составом, приведенным в табл. 1;
- вода водопроводная;
- щелочный активизатор твердения NaOH.

**Табл. 1.** Химический состав доменного гранулированного шлака

№	Показатель, ед. изм.	Нормируемое значение	Фактическое значение
2	Содержание CaO, %	35,0 – 45,0	37,00
3	Содержание SiO <sub>2</sub> , %	35,0 – 45,0	36,50
4	Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Не менее 8,0	13,0
5	Содержание MgO, %	Не более 15,0	13,20
6	Содержание FeO, %	Не более 1,0	0,47
7	Содержание Na <sub>2</sub> O, %	Не более 1,0	0,37
8	Содержание K <sub>2</sub> O, %	Не более 1,5	0,49
9	Содержание TiO <sub>2</sub> , %	Не более 4,0	1,81
10	Содержание MnO, %	Не более 2,0	0,58
11	Содержание S, %	Не более 1,0	0,47
12	Модуль основности	0,95 – 1,10	1,01

В работе были использованы следующие методы исследования:

- определение нормальной плотности цементного теста, сроков схватывания, истинной плотности, удельной поверхности методом воздухопроницаемости по ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка»;
- исследование структурообразования с помощью ультразвукового метода;
- определение усадки ГОСТ 24544-2020 «Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В данном исследовании определялись основные свойства вяжущего, состоящего из доменного гранулированного шлака производства ООО «Мечел-Материалы» и 22% водного раствора едкого натра NaOH.

Первым шагом была определена истинная плотность шлака, которая составила 3,1 г/см<sup>3</sup>.

Удельная поверхность определялась на приборе ToniPERM. Прибор для определения удельной поверхности по воздухопроницаемости подходит для постоянного контроля производственных характеристик. В результате удельная поверхность шлака составила 3400 см<sup>2</sup>/г.

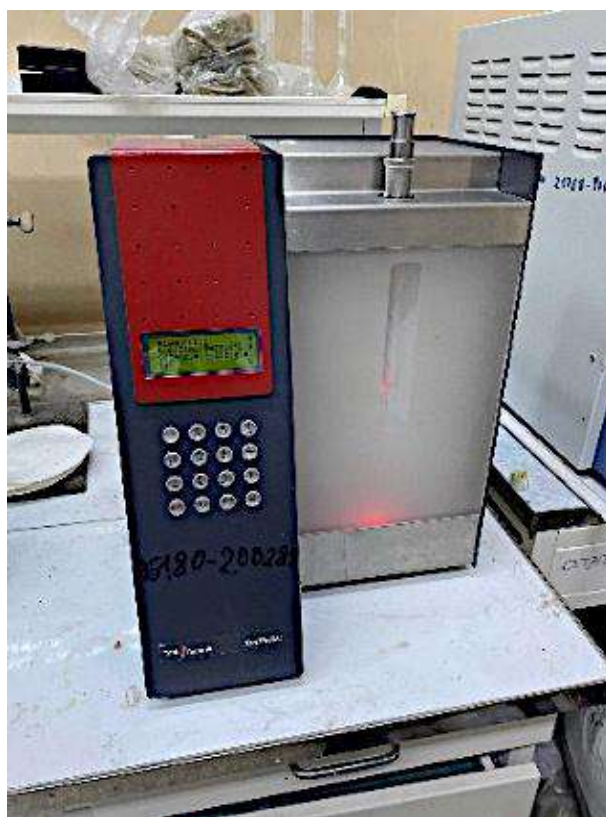


Рис. 1. Определение удельной поверхности на приборе ToniPERM

Состав шлакощелочного вяжущего представлен в табл. 2.

Табл. 2. Разработанные составы шлакощелочного вяжущего

Наименование	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Гранулированный доменный шлак	300	335	370
Вода	700	665	630

В качестве оптимального состава был выбран состав №2. Показатели скорости прохождения ультразвука для определения формирования структуры представлены в табл. 3.

Результаты испытаний усадочных деформаций образца из теста шлакощелочного вяжущего приведены в табл. 4.

**Табл. 3.** Исследование структурообразования

Время, мин	Скорость ультразвука в системе, м/с	Время, мин	Скорость ультразвука в системе, м/с
18	577	43	895
19	588	44	936
20	574	45	982
21	578	46	1025
22	579	47	1113
23	572	48	1059
24	566	49	1190
25	590	50	1078
26	576	51	1002
27	615	52	1134
28	577	53	1187
29	575	54	1165
30	576	55	1189
31	585	56	1232
32	601	57	1281
33	675	58	1280
34	703	59	1248
35	720	60	1288
36	753	61	1200
37	786	62	1146
38	810	63	980
39	843	69	931
40	860	79	959
41	871	89	1180
42	842	95	1187

**Табл. 4.** Показатели усадки шлакощелочного вяжущего

Показатели усадки на	Усадка, %
1 сут	0,011
2 сут	0,0393
3 сут	0,0402
7 сут	0,0476
10 сут	0,0408
14 сут	0,069
28 сут	0,0803
50 сут	0,1126

## ВЫВОДЫ

По результатам экспериментального исследования свойств шлакощелочного вяжущего были сделаны следующие выводы:

1. Применение шлакощелочного вяжущего будет способствовать решению экологических проблем путем экономии невозобновляемых источников сырья и использования отходов промышленности в производстве строительных материалов.

2. Истинная плотность шлака составила  $3,1 \text{ г/см}^3$ , удельная поверхность –  $3400 \text{ см}^2/\text{г}$ . Водопотребность шлакощелочного вяжущего составила 33,5%; Были определены сроки схватывания: начало схватывания - 45 минут, конец схватывания – 1 час 45 минут.
3. Период формирования структуры составил 58 минут, что означает фазовый переход вяжущего из связанной коагуляционной структуры в хрупкую кристаллическую.
4. Деформации усадки составили в возрасте 1 сут – 0,011%, 3 сут – 0,0402%, 7 сут – 0,0451%, 14 сут – 0,069%, 28 сут – 0,0803%, 50 сут – 0,1126%, которые значительно превышают показатели усадки, характерные для портландцементного вяжущего. Указанный недостаток регулируется либо введением портландцементного клинкера. Либо применением химических добавок [7].

Дальнейшего продолжения требуют исследования, направленные на получение данных о совместимости шлакощелочного вяжущего с полиамидными волокнами и их влиянии на свойства композиционного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Larsen, O., Shvetsova, V., Patsenko, E., Polozov, A. Properties of sand concrete with recycled tyre polymer fibers. E3S Web of Conferences, 2021, 263, 01015 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301015> FORM-2021
2. A. Baricevic, M. Pezer, M. Jelcic Rukavina, M. Serdar, N. Stirmer. Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete / A. Baricevic [et al.]. // Construction and Building Materials. -2018. -Vol. 176. p. 135-144.
3. Mucsi Gá, Szenczi Á, Nagy Sá, Fiber reinforced geopolymer from synergetic utilization of fly ash and waste tire, Journal of Cleaner Production, 429-440. 2018.
4. Рекомендации по применению бетонов на шлакощелочном вяжущем в сульфатных, хлоридных и магниезиальных средах. – М: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981.
5. Абу Махаи М.И., Безбородов А.В. Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве/ Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». – 2017.Т.18.№2. с 212-218.
6. Волженский, А.В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов – М.: Стройиздат, 1984 г.
7. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе. – М: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЦЦОЛАНОВЫХ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

К. А. Бутенко, О. А. Ларсен

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** минеральные добавки имеющие пуццолановые свойства на основе метакеолинита и доменного гранулированного шлака для гидравлических бетонов.

**Цели:** изучение пуццолановых свойств минеральных добавок, определение их активности.

**Материалы и методы:** Минеральные добавки на основе метакеолинита и гранулированного доменного шлака, тонкодисперсные порошки светло-желтого и серого цвета соответственно. Кальциевая негашеная известь, измельченная в тонкий порошок белого цвета. Активность добавок определялась путем определения количества поглощенного СаО из насыщенного раствора извести титриметрическим методом.

**Результаты:** в результате испытаний было установлено, что сумма миллиграмм поглощенного СаО добавкой на основе метакеолинита составляет: 281,13 мг, а добавкой на основе гранулированного доменного шлака – 226,05 мг. Объем образовавшегося осадка составляет: 20 и 17 мл. соответственно. По уменьшению активности добавки можно расположить следующим образом: добавка на основе метакеолинита → добавка на основе доменного шлака.

**Выводы:** высокое значение мг поглощенного СаО из известкового раствора говорит о том, что добавки являются активными, и могут использоваться при производстве пуццоланового цемента (ЦЕМ IV) и сульфатостойкого портланд цемента с минеральными добавками (ЦЕМ II/A CC). Этому способствует не только большая активность добавок по поглощению извести, но, несомненно, и то, что они, обладая высокой степенью набухания, могут создавать повышенную плотность цемента и этим самым делая цемент менее водопроницаемым. Это дает основание предполагать, что путем специального подбора пуццолановых добавок можно значительно улучшить свойства цементов.

## ВВЕДЕНИЕ

Большая часть производимого бетона на основе цементного вяжущего сегодня – это обычный бетон с достаточно низкими показателями коррозионной стойкости. Также существенным недостатком цементной смеси для бетонов является большое количество выделяющегося тепла при гидратации вяжущего, что также может неблагоприятно сказаться при возведении массивных объектов строительства. Все эти недостатки возможно урегулировать при помощи добавок, имеющих пуццолановые свойства. Пуццолановый цемент (ЦЕМ IV) и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками (ЦЕМ II/A CC) — это специфические гидравлические вяжущие, производимые путем смешивания цемента с минеральными добавками, отличающихся пуццолановой активностью. В данном исследовании будет изучаться применимость двух минеральных добавок на основе метакеолинита (Доб-1) и доменного шлака (Доб-2), путем определения их активности. (см. Рис. 1) Значение активности добавок, является необходимым для объяснения пуццолановых свойств цементных вяжущих. Водостойкость, коррозионная стойкость, усадка, тепловыделение при гидратации вяжущего и прочность бетонного изделия, могут зависеть не только от активности минеральных добавок, но и от степени увеличения (набухания) осадка.



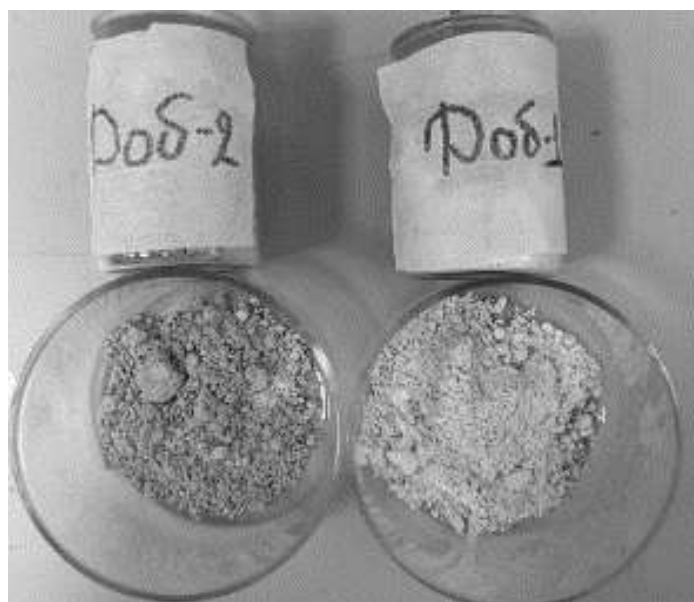


Рис. 1. Добавки, используемые в испытании

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В двух прошедших десятилетиях активно стали изучаться пуццолановые минеральные добавки с целью повышения экономической эффективности при производстве и дальнейшей эксплуатации цементного вяжущего. Исследования прошлых лет показали, что пуццолановые добавки активизируют процесс минерализации и могут вступать в реакцию как с самим вяжущим, так и мелким наполнителем, тем самым повышая сульфатостойкость и долговечность изделия [1]. Но не все минеральные добавки взаимодействуют в одинаковой степени с вяжущим. Далее появилось понятие как активность пуццолановых минеральных добавок, объясняющая их степень взаимодействия в растворе. Производились различные методы определения активности, а также ее сравнения у различных добавок [2, 3].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка активности минеральных добавок определяется по степени набухания и по их способности поглощать известь из ее водного раствора.

Активность исследуемых добавок выражается в количестве мг поглощенного  $\text{CaO}$  из водного раствора извести, поглощенным 1 г добавки за 30 суток. Для полной характеристики активности этих добавок одновременно фиксировали максимальную величину степени увеличения осадка также за 30 суток (рис. 2 и рис. 3).

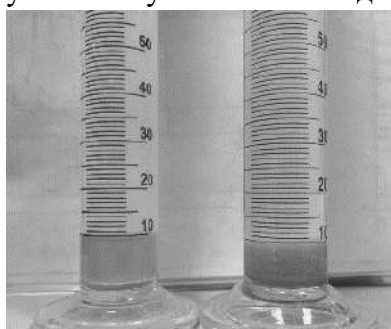


Рис. 2

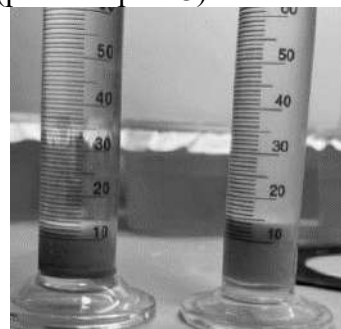


Рис. 3

Изменение объема осадка с течением времени

Методика проведения испытания заключается в следующем. Предварительно высушенные при  $105-110\text{ }^{\circ}\text{C}$  навески добавок массой по 2 г измельчают в агатовой ступке до прохождения через сито №008.

Испытания проводились в градуированных стеклянных цилиндрах ёмкостью 100 см<sup>3</sup> с плотно притёртыми резиновыми пробками. Проведение опыта заключалось в следующем: в предварительно осушенный чистый цилиндр помещалась взвешенная на аналитических весах навеска добавки в количестве 1 г, после чего заливалась водным раствором извести до отметки 100 см<sup>3</sup>. Далее цилиндр подвергали интенсивному взбалтыванию в течении 1 минуты, затем полученная суспензия оставлялась в покое до следующего дня, после чего производилось повторное взбалтывание.

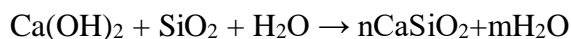
Через каждые двое суток от начала опытов в цилиндрах отмечался объем осадка добавки, затем из цилиндров отбиралось пипеткой 50 см<sup>3</sup> раствора и титровалось раствором соляной кислоты в присутствии метилоранжа. После этого цилиндры доливались свежими растворами Ca(OH)<sub>2</sub> в количестве 50 см<sup>3</sup>, взбалтывались и опять оставлялись для отстаивания [4, 5].

Количество поглощенной извести добавкой вычислялось по разности между первоначальной концентрацией залитого в цилиндр раствора Ca(OH)<sub>2</sub> и определенной через двое суток путем титрования раствором соляной кислоты. Для проведения исследований использовали раствор гидрата оксида кальция, содержащий 1,4 г в пересчете на CaO в 1 л. (табл. 1).

**Табл. 1.** Результаты за 30 дней испытания

Наименование материала	Число поглощенного мг CaO 1 г. добавки	Объем осадка
Добавка на основе метаколинита	280,13	20
Добавка доменного гранулированного шлака	226,05	17

Активные минеральные добавки в своем составе содержат реакционноспособный диоксид кремния SiO<sub>2</sub>. Следовательно реакция взаимодействия Ca(OH)<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> будет выглядеть следующим образом:



Ca(OH)<sub>2</sub> взаимодействует с активным SiO<sub>2</sub> с образованием геля гидросиликата кальция (nCaSiO<sub>2</sub>). Из уравнения видно, что чем активнее Ca(OH)<sub>2</sub> взаимодействует с SiO<sub>2</sub>, тем сильнее будет заметна величина набухания добавки в растворе гидрата окиси кальция. Следовательно его образование может зависеть как от концентрации раствора Ca(OH)<sub>2</sub> так и от степени активности самих добавок.

## ВЫВОДЫ

В результате испытаний было установлено, что сумма миллиграмм поглощенного CaO добавкой на основе метаколинита составляет: 281,13 мг, а добавкой на основе гранулированного доменного шлака – 226,05 мг. Объем образовавшегося осадка составляет: 20 и 17 мл. соответственно. По уменьшению активности добавки можно расположить следующим образом: добавка на основе метаколинита → добавка на основе доменного шлака.

Высокое значение мг поглощенного CaO из известкового раствора говорит о том, что добавки являются активными, и могут использоваться при производстве пуццоланового цемента (ЦЕМ IV) и сульфатостойкого портланд цемента с минеральными добавками (ЦЕМ II/A CC). Этому способствует не только большая активность добавок по поглощению извести, но, несомненно, и то, что они, обладая высокой степенью набухания, могут создавать повышенную плотность цемента и этим самым делая цемент менее

водопроницаемым. Это дает основание предполагать, что путем специального подбора пуццолановых добавок можно значительно улучшить свойства цементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ларсен О. А., Александрова О. В., Наруть В. В., Полозов А. А., Бахрах А. М. Исследование свойств активных минеральных добавок для применения в гидротехническом строительстве. Вестник БГТУ. 2020. №8. С. 8-17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17.
2. Волженский А. В. Иванов И. А., Виноградов Б. Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат. 1984, 255 с.
3. Setina J., Gabrene A., Juhnevica I. Effect of Pozzolanic Additives on Structure and Chemical Durability of Concrete // 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques; Procedia Engineering 57 ( 2013 ) P. 1005 – 1012.
4. Ustabas I., Kaya A. Comparing the pozzolanic activity properties of obsidian to those of fly ash and blast furnace slag // Construction and Building Materials 2018 №3. P. 297-307.
5. Ботвинкин О.К., Клюковский Г.И., Мануйлов Л.А. Лабораторный практикум. По общей технологии силикатов и техническому анализу строительных материалов. 1966. – 99 с.



# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ю. Р. Шабаев, С. Б. Сборщиков

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день разрабатываются новые материалы, которые позволяют понизить потребление материала, затраты на производство, повысить срок службы, удобство работы и экологичность. В данной статье рассматриваются наиболее интересные разработки в области материалов для дорожного строительства их применения, характеристики и свойства.

Выбор темы связан с быстрым развитием дорожного строительства. Поиск более экологичных, эффективных и экономичных материалов для быстро растущих объемах строительства.

Актуальность данной работы связана с тем, что в работе рассмотрены перспективные направления в строительстве дорог, такие как разработка и использование новых материалов.

Новизна работы заключается в анализе основных направлений развития дорожного строительства.

Практическая значимость заключается в возможности применения полученной информации для возведения новых дорог.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В статье были использованы выдержки по геосинтетическим материалам из работы [1], по модификации битумного вяжущего из [2],[3],[4].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В процессе сбора данных из литературы и практической деятельности были получены следующие данные.

Развивается использование геосинтетических материалов в дорожной одежде, они позволяют увеличить срок эксплуатации, являются экологичным материалом. Состоят в основном из полимеров.

Они применяются в различных формах, таких как

Геотекстиль производится в виде рулонных материалов. Материал является гибким, прочным, водонепроницаемым. Применяется для фильтрации влаги и разделения крупного заполнителя от грунта. Это позволяет дорожному покрытию не деформироваться и уменьшить образования трещин.

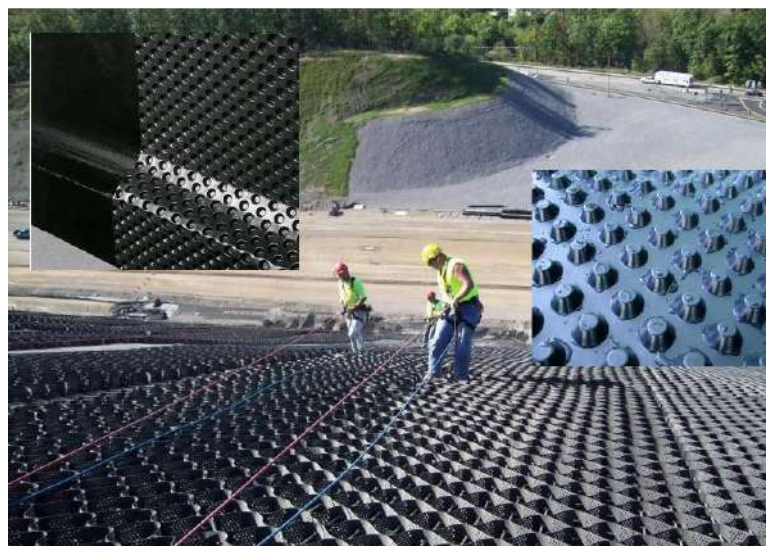


**Рис.1.** Геотекстиля

Геотекстиль разделяют по способу плетения нитей на:

- Вязаный, производится из волокон, объединённых специальной схемой. Применяется для отделения сред друг от друга.
- Тканый, в нём волокна переплетены перпендикулярно друг другу. При этом используется от двух и более нитей. Получаемый геотекстиль обладает повышенной прочностью и позволяет снижать нагрузки на дорожное полотно.
- Нетканый, в нём волокна соединены бессистемно. После этого пропитывают специальными составами. Такой геотекстиль имеет повышенную эластичность, вследствие прочность достаточна низкая.

Геомембрана представляет собой рулонный или листовой материал, состоящий из волокон толщиной 1-4мм. Она обладает большой прочностью, устойчивостью к растяжению. Использование мембраны позволяет избавиться от вспучивания из-за мороза.



**Рис.2.** Геомембрана

Геокамера применяют в качестве форм для сыпучих материалов при создании гидротехнических сооружений. Обладает рядом свойств: влагопроницаемость, морозостойкость и устойчивость к воздействию жары и ультрафиолета.



**Рис.3.** Геокамера

Геосетка и георешотка выполняются из полимерных или синтетических нитей. В основе полипропилен, стекловолокно, полиэтилен, полиэфир. Применяют для укрепления откосов, дорожного полотна. Обладают хорошей гибкостью и прочностью. Что позволяет строить дороги на слабых грунтах.



**Рис.4.** Геосетка



**Рис.5.** Георешотка



Геоматериалы позволяют производить работы в условиях слабых оснований, заболоченности и при низких температурах.

Также развивается модификации битума различными добавками, что ведет к улучшению его характеристик. Основным из перспективных направлений это модификация полимерами.

Добавки на основе стирол-бутадиен-стирол. Повышают гибкость при низких температурах и устойчивость к резким перепадам температур.

Добавки сополимеров этилена позволяют менять реологические свойства, что позволяет повысить температуры размягчения, повысить жесткость при высоких температурах и, что в свою очередь ведёт к повышению сопротивления постоянным деформациям.

Добавка резиновой крошки повышает теплостойкость, но не увеличивает прочность на сжатие при 0 °С

С помощью добавок и их комбинаций позволяет корректировать свойства асфальтобетонной смеси, для возможности применять в суровых условиях и повышение характеристик.

Развитие применения цветного асфальта в основе добавка в асфальтобетонную смесь красителя и осветления битума. Такой асфальт позволяет отделять и обозначить зоны дороги. Это позволяет облегчить получение информации, что ведет к повышению безопасности.



Рис.6. Цветной асфальт

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из приведенных данных по геосинтетическим материалам видно повышение эксплуатации, возможность строить в суровых условиях, уменьшается воздействие на полотно, повышает его прочность и стойкость.

Модификация битума позволяет корректировать его свойства, что увеличивает не только его характеристики, а также область применения.

## ВЫВОДЫ

В результате рассмотрения новых материалов дорожного строительства, можно сделать вывод о развитии отрасли и её востребованности в современном мире.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов С. В., Пospelов П. И., Гойс Т. О., Грузинцева Н. А., Матрохин А. Ю., Гусев Б. Н. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 101-106
2. Гуреев, А.А., Коновалов А.А., Самсонов В.В. Состояние и перспективы развития производства дорожных вяжущих материалов в России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2008. №1. С.12–16.
3. Жуков М.О., Толчков Ю.Н., Михалева З.А. Исследование возможности применения модификаторов на основе углеродных наноструктур в технологии эффективных строительных материалов // Молодой ученый. 2012. №5. С.16–20
4. Смолякова, К.Р. Модифицирование полимерами нефтяных дорожных битумов / К.Р. Смолякова, А.И. Бердимухамедова // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции естественных наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 105–108.
5. Кадеева А.С. Развитие инфраструктуры средств индивидуальной мобильности в Новосибирске // Ноэма [Архитектура. Урбанистика. Искусство]. — 2020. — № 1. — С. 18-36.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ В АСФАЛЬТОБЕТОНАХ

**В. В. Корниенко, Ю. Г. Борисенко**

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, г. Ставрополь, Кулакова 2, корпус №22*

## **Аннотация**

На сегодняшний день выявлено отчетливое понижение свойств и эксплуатационных параметров дорожных асфальтированных покрытий, уменьшение межремонтных сроков эксплуатации автомобильных дорог в Российской Федерации связано с увеличением интенсивности перемещения большегрузных автотранспортных средств. В особенности передвижение тяжеловесного грузового транспорта, считаются одними из существенных вопросов дорожного строительства. На сокращения сроков службы дорожных асфальтобетонных покрытий кроме того оказывают влияние низкие свойства, а также эксплуатационные характеристики дорожно-строительных материалов. Низкие физико-механические свойства использованных материалов покрытий автомобильных дорог, мостовых переходов, тротуаров, многоярусных стоянок считаются одними из основных факторов уменьшения сроков их эксплуатации. Так при использовании в составе асфальтобетонов пористых заполнителей, повышаются определенные физико-механические свойства асфальтобетонного покрытия. Легкий пористый материал в качестве заполнителя способствует повышению износостойкости, упругости, прочности на растяжение. [7]

## **ВВЕДЕНИЕ**

Актуальной проблемой в дорожном строительстве является повышение эффективности и качества дорожных покрытий, разработка и внедрение новых технологий дорожного строительства и создание новых, отвечающих современным требованиям, асфальтовых композиционных материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики конструкций автомобильных дорог. [7]. Не менее актуальным является вопрос разработки и применения легких конструкционных материалов на доступных органических вяжущих для покрытий мостов, мостовых переходов, дорожных одежд многоярусных автостоянок, в качестве стяжек плоских кровель промышленных и гражданских зданий, позволяющих снизить объемы бетона и железобетона в конструкциях этих сооружений. Такие материалы также перспективно применять в качестве гидро- и теплоизоляционных покрытий трубопроводов, теплотрасс и других инженерных сетей. [6]

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Одним из путей решения данной проблемы является применение асфальтобетонов на основе легких пористых минеральных заполнителей и наполнителей (керамзита, вермикулита, перлита и др.). Известен ряд исследований в этом направлении, дающих весьма обнадеживающие результаты. Наиболее перспективным пористым заполнителем для использования в асфальтобетонных смесях является керамзит, обладающий низкой теплопроводностью и плотностью, высокой пористостью и достаточно высокой механической прочностью. [6]

Эффективность применения пористых минеральных материалов в асфальтобетонах обосновывается следующим.

Как известно, одним из основных недостатков материалов на битумном вяжущем является высокая зависимость прочности и деформативности от эксплуатационных температур. Поэтому, условия работы асфальтобетонных покрытий (особенно дорожных) предъявляют к этому материалу требования достаточной деформационной устойчивости при высоких летних температурах и достаточной деформативной способности при низких

температурах.[3]

Устойчивость против возникновения сдвиговых деформаций тесно связана с прочностью асфальтового материала – повышенной прочностью при высоких летних температурах соответствует и повышенная сдвигоустойчивость покрытий. Согласно теоретическим представлениям прочность асфальтобетона связана со сцеплением его частиц между собой и внутренним трением, возникающим между ними. Чем выше угол внутреннего трения и сцепление – тем выше прочность. Форма и характер поверхности частиц заполнителя существенно влияет на величину внутреннего трения и сцепления в теле асфальтобетона.[2]

Повышение прочности асфальтобетонов при высоких летних температурах (т.е. теплостойкости), а также повышение сдвигоустойчивости покрытий на их основе возможно обеспечить путем замены плотного минерального заполнителя (гранитного щебня) на пористый (в частности, керамзитовый песок или гравий), удельная поверхность которого значительно выше удельной поверхности плотного заполнителя, а поверхность зерен очень развита. Введение в состав асфальтобетонной смеси керамзита также будет способствовать значительному снижению теплопроводности и температурных напряжений в материале покрытия.

Одной из основных задач при разработке конструкций, воспринимающих тепловые нагрузки, является сведение к минимуму температурных напряжений. Снижение температурных напряжений в асфальтовых материалах гарантирует повышение деформативной способности при низких температурах (т.е. повышение трещиностойкости асфальтобетона).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Известно, что на величину температурных напряжений асфальтобетона влияет величина модуля упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\mu$  и коэффициент линейного температурного расширения  $\alpha$  материала. Опыт проведенных экспериментальных исследований применения керамзита в качестве заполнителя асфальтобетонных смесей показал, что замена плотного заполнителя на пористый (керамзитовый гравий или керамзитовый песок) снижает модуль упругости асфальтобетона и увеличивает прочность его на растяжение  $R_p$ , снижает коэффициент Пуассона и коэффициент линейного температурного расширения. Все эти факторы обеспечивают значительное увеличение трещиностойкости покрытия.[1]

Теоретическими исследованиями физико-химических взаимодействий органического вяжущего и пористых минеральных материалов, а также процессов структурообразования асфальтобетонов, выявлено следующее. В процессе объединения битума с пористыми минеральными материалами органическое вяжущее претерпевает значительные структурные изменения, изменения состава и концентрации различных по молекулярному весу и реакционной способности составляющих битума – масел, смол и асфальтенов. Это обусловлено избирательной фильтрацией масел и ароматических углеводородов внутрь пористых компонентов. Вследствие этого процесса, вяжущее в смеси обогащается наиболее химически активными компонентами – смолами и асфальтенами, что улучшает физико-химические взаимодействия вяжущего и минеральной части и повышает прочность материала. [1]

## ВЫВОД

Высокая пористость и высокая удельная поверхность пористых заполнителей в составе асфальтобетонных смесей будет способствовать увеличению прочности контактов между вяжущим и минеральной частью вследствие уменьшения доли объемного битума и увеличения доли структурированного битума на поверхности пористого заполнителя. Таким образом, применение пористых заполнителей способствует и повышению механической прочности асфальтобетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко О. А. // Битумоминеральные композиции, модифицированные отсевами дробления керамзита для асфальтовых материалов с повышенными термостабильностью и трещиностойкостью : диссертация кандидата технических наук : 05.23.05 / Борисенко Ольга Анатольевна; [Место защиты: Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т]. - Воронеж, 2008. - 185 с.
2. Горельшев Н.В. // Без дефектов и ремонтов. Дороги России XXI века. - № 3, 2002.-е.
3. Кретов В. А. // Проблемы повышения качества дорожных битумов: экономические и технические аспекты / В. А. Кретов, А. В. Руденский // Дороги России 21 века. - 2002. - № 3.
4. Лаврухин В. П. // Физико-механические свойства и усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах / В. П. Лаврухин, Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. - П. Новгород, 2003. - Вып. 6.
5. Михайлов А.А. Усталостная долговечность модифицированного холодного асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок / А.А. Михайлов, Ю.И. Калгин, А.В. Лобода // Научный Вестник ВГАСУ «Строительство и архитектура». - 2012
6. Рыбьев И. А. // Строительное материаловедение: учеб, пособие для строительных вузов. - М.: Высш, шк., 2003.
7. Солдатов А. А. // Повышение сдвигоустойчивости и износостойкости дорожных покрытий при использовании высокодисперсных отсевов дробления керамзита в асфальтобетонных смесях - Воронеж, 2012 г.



# Секция 2. Надежность зданий и сооружений и безопасность в строительстве

## ДИНАМИКА ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ

С. А. Сазонова, А. В. Алексейцев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

### Аннотация

Статья посвящается решению актуальной проблемы анализа напряженно-деформированного состояния фиброжелезобетонных конструкций при аварийных динамических воздействиях. Рассматривается плита покрытия, заглубленная в грунт. Ударные воздействия на плиту считаются импульсными. Исследуется характер изменения динамического эффекта в бетоне и арматуре при жестком опирании или упругопластическом деформировании опор при ударном воздействии. На конкретном примере показана эффективность предлагаемого подхода при симметричном нагружении импульсной нагрузкой с учетом переменной площади действия ударной нагрузки. Представлены поля распределения нормальных напряжений во времени для фибробетона, распределение напряжений в податливой опоре в виде круглой электросварной трубы. Численное моделирование показало, что как при статическом, так и при динамическом догружении плита разрушается по бетону с образованием вантового механизма в арматуре, при этом сохраняя свойство живучести при обеспечении сохранности арматуры. Сформированы основные перспективы исследований и выводы о корректности предполагаемого подхода к моделированию динамического поведения конструкции. Доказано, что использование податливых опор играет существенную роль в демпфировании колебаний и позволяет регулировать уровень механической безопасности конструкции и ее материалоемкость. Установлена существенная значимость, необходимость и актуальность определения фактических демпфирующих свойств конструкции.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее актуальной исследовательской задачей является проектирование несущих конструкций защитных сооружений. На ее решение направлено большое число научных исследований, в частности рассмотрение импульсных воздействий [1-7].

В данной работе представлен подход к численному моделированию железобетонных конструкций плит с учетом наличия жестких и податливых опор. Выполнена оценка влияния демпфирующих эффектов на величины напряжений, деформаций и перемещений этих конструкций.

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Одной из проблем, требующих решения, является высокая стоимость строительных материалов, т.к. нагрузки большей величины и интенсивности требуют использования материалов большей прочности. Для решения этой задачи могут быть использованы опоры, демпфирующие динамические воздействия [8, 9], при этом может возникать задача выбора оптимальной жесткости этих опор. В данном случае такая задача оптимизации может быть решена на основе различных модификаций метаэвристических алгоритмов [10-15].

Известны работы, в которых подходы к динамическому расчёту конструкций на податливых опорах представляются достаточно сложными аналитическими моделями [16, 17]. Их широкое применение в инженерной практике сдерживается высокой трудоемкостью и адаптацией к определенному типу конструкций и опорных закреплений. В связи с этим представляется актуальной разработка численных моделей для воспроизведения напряженного-деформированного состояния таких конструкций при различных формах импульса и времени действия динамических нагрузок.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приближённая оценка интенсивности динамической нагрузки возможна в виде импульса, передаваемого через грунт на конструкцию. В данной работе рассмотрено импульсное ударное воздействие, создаваемое зарядом взрывчатого вещества, расположенного на поверхности грунта. Для перехода от импульса к эквивалентному силовому воздействию используем условие равенства импульса, передаваемого в результате взрыва грунтом, воспринимаемому конструкцией, импульсу силы. Начальную интенсивность импульса от взрыва можно определить на основе уравнения Джонса-Вилкинса-Ли [18].

Переход к решению задачи в рамках метода конечных элементов реализуется на основе уравнения:

$$[M]\ddot{y}(t) + [C]\dot{y}(t) + [K_{\tau}(t)]y(t) = F(t) + G\chi(t), \quad (1)$$

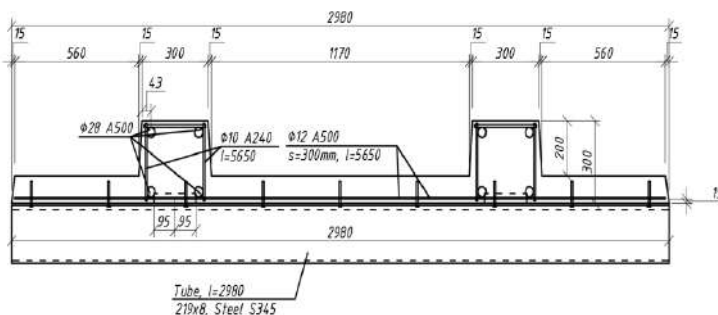
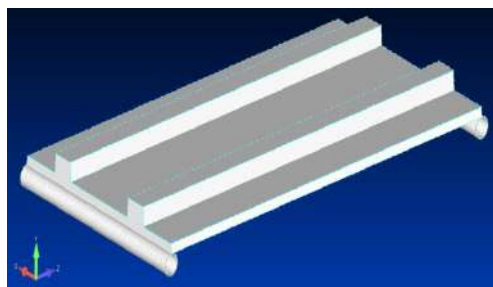
где  $[M]$ ,  $[C]$  – глобальные матрицы масс и демпфирования для конечно-элементной модели,  $[K_{\tau}(t)]$  – глобальная касательная матрица жесткости для деформированного состояния системы;  $y(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $\ddot{y}(t)$  – векторы перемещений, скоростей и ускорений,  $F(t)$  – вектор приведенной к узлам внешней нагрузки,  $\chi(t)$  – функция Хевисайда,  $G$  – вектор узловых масс.

В рамках метода конечных элементов представление импульсной нагрузки, изменяющейся во времени и имеющей изменяющееся пятно удара реализовано на основе введения функций изменения нагрузок во времени, нормированных по значению соответствующих нагрузок. Моделирование деформаций фибробетона выполнялось на основе теории пластичности Друкера-Прагера, материал арматуры и трубы принимался в виде стали с учетом билинейной диаграммы деформирования без упрочнения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим результаты моделирования напряженно-деформированного состояния плиты здания, имеющего защитное функциональное назначение и расположенного на некотором заглублении от поверхности грунта.

Эксплуатационная нагрузка составляет 15кПа и включает собственный вес плиты 3кПа, и вес грунта 12 кПа. Модель плиты показаны на рис. 2.

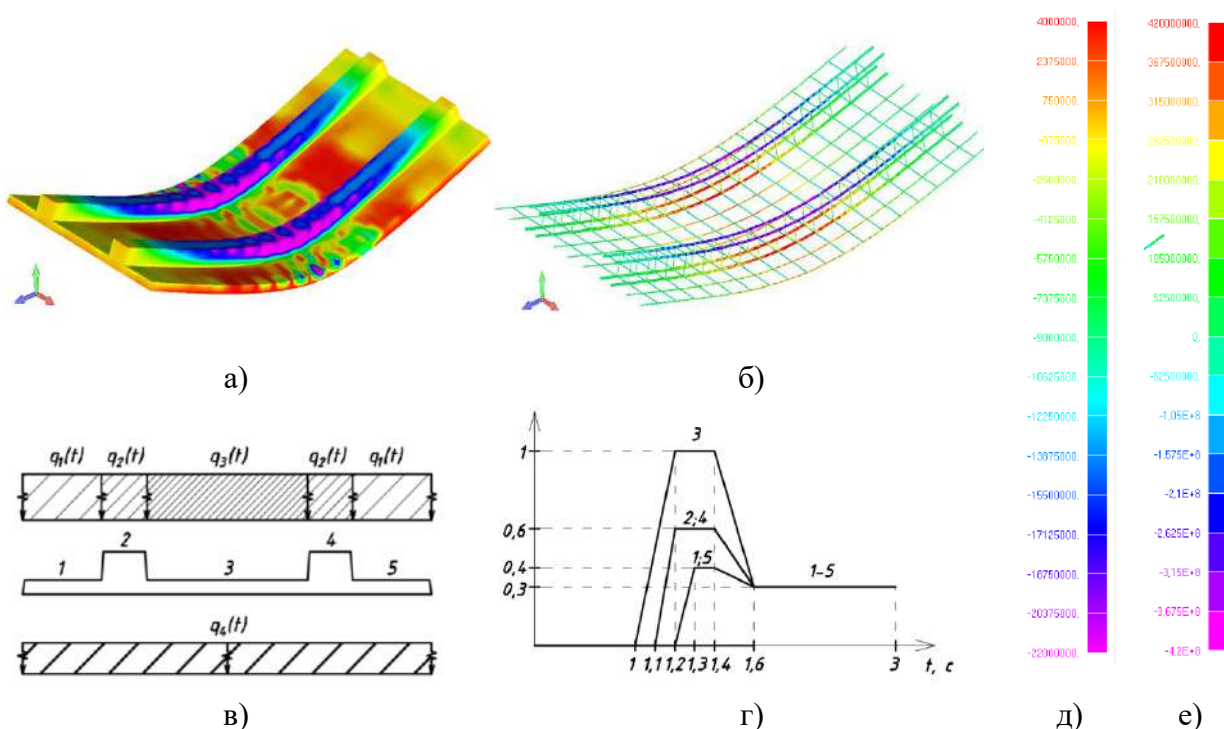


а)

б)

**Рис. 2.** Плита покрытия заглубленного сооружения: а) твердотельная модель; б) поперечное сечение

За основу взята структура типового решения по серии У 01-01-/80 «Унифицированные сборно-монолитные конструкции заглубленных помещений с перекрытиями балочного типа». Использовался фибробетон, имеющий сопротивление растяжению в 4 МПа, сопротивление сжатию 22 МПа. Первоначально выполнялась верификация модели путем оценки предельного статического нагружения. В нелинейном расчете получено значение предельного статического нагружения равномерно распределенной нагрузкой 41,5 кПа. Прогиб конструкции составил 8,3 см. Напряженно-деформированное состояние показано на рис. 3.



а)

б)

в)

г)

д)

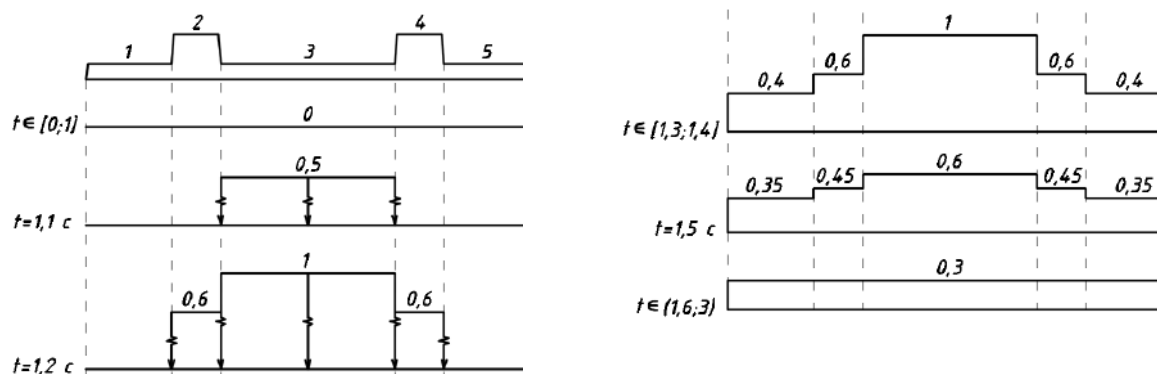
е)

**Рис. 3.** Напряжения в фибробетоне (а) и в арматуре (б) в предельном статическом нагружении, схемы динамической нагрузки (в)-(г), шкалы напряжений в бетоне и арматуре (д)-(е)

Как видно из расчета при выбранных механических характеристиках разрушение конструкции происходит по нормальным сечениям. Напряжения в поперечной арматуре на приопорных участках не превышают 170 МПа. До достижения уровня нагрузки в 20 кПа плита и балки работают совместно, после чего фибробетон плиты по всей высоте ее сечения

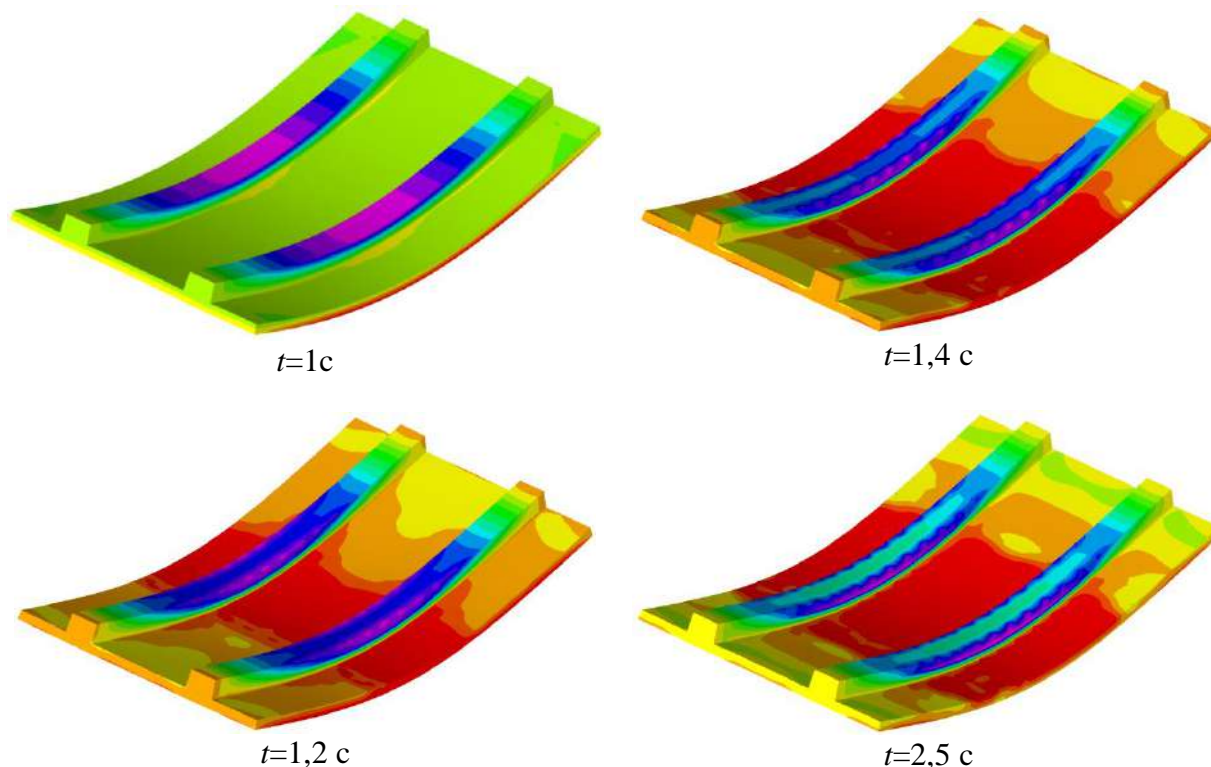
начинает работать на растяжение, затем плита разрушается, арматура ее нижней сетки начинает работать по схеме вантового механизма.

Рассмотрим динамическое нагружение импульсной нагрузкой с переменным пятном удара. Для этого разделим плиту по площади на 5 участков рис. 3, в, описывающих сценарий распространения импульса, и будем использовать временные функции (рис. 3, г) для каждой из нагрузок. Распределение нагрузки во времени показано на рис. 4.



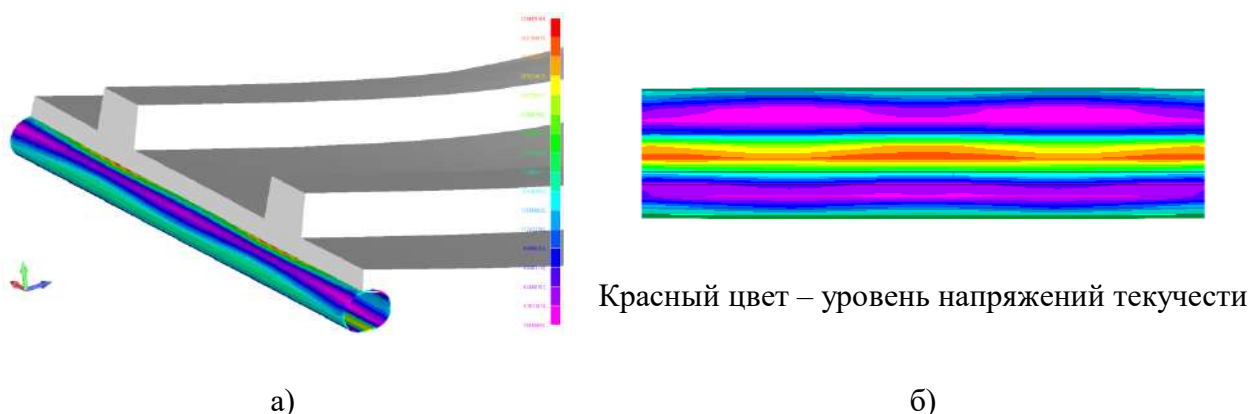
**Рис. 4.** Схема приложения импульсной нагрузки

Динамический анализ выполнялся для двух случаев опорных закреплений. Первый с опиранием плиты на податливую опору в виде стальной трубы, второй – с опиранием на жесткую опору. Расчет показал, что при уровне максимального импульса динамической нагрузки в 28 кПа\*с система с жесткими опорами разрушается, в то время как с податливыми еще обладает несущей способностью. Изменение во времени напряжений в бетоне показано на рис. 5. Распределение напряжений по длине для податливой опоры показано на рис. 6.



**Рис. 5.** Распределение сжимающих напряжений во времени для податливого опирания





**Рис 6.** Распределение напряжений Мизеса по длине трубы в момент времени  $t=1,2$  с (а), изображение с увеличенным в 3 раза поперечным масштабом (б)

## ВЫВОД

Разработан подход к численному моделированию динамического поведения фибробетонных плит с учетом переменного во времени пятна импульсной ударной нагрузки.

Установлено, что при действии такой нагрузки введение податливых опор способствует повышению механической безопасности и снижению материалоемкости конструкций.

Показана эффективность введения податливой опоры в виде круглой трубы– при данном ударном воздействии в отличие от жестких опор разрушения не происходит. В частном случае установлено, что разрушение конструкции при рассматриваемом импульсном воздействии происходит по фибробетону, даже при наличии рабочей арматуры в сжатой зоне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Oleg V. Mkrtychev, Anton Y. Savenkov Modeling of blast effects on underground structure // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 15(4) 111-122 (2019).
2. Radchenko, P. Batuev, S. Radchenko, A. (2021). Fracture of Protective Structures from Heavy Reinforcing Cement During Interaction with High-velocity Impactor. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 14. 779-786. 10.17516/1997-1397-2021-14-6-779-786.
3. Тонких Г.П., Кумпяк О.Г., Галютудинов З.Р. Расчет прочности защитных сооружений гражданской обороны на податливых опорах в виде сминаемых вставок кольцевого сечения // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 4 (66). С. 94-97.
4. Yan J. et al. Experimental and numerical analysis of CFRP strengthened RC columns subjected to close-in blast loading. Int. J. Impact Eng. Elsevier, 2020. Vol. 146, No May. P. 103720.
5. Hu Y. et al. Study of CFRP retrofitted RC column under close-in explosion. Eng. Struct. 2021. Vol. 227, 2020.
6. Li Y., Aoude H. Influence of steel fibers on the static and blast response of beams built with high-strength concrete and high-strength reinforcement. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 221, 2019. P. 111031.
7. Zhang C., Abedini M., Mehrmashhadi J. Development of pressure-impulse models and residual capacity assessment of RC columns using high fidelity Arbitrary Lagrangian-Eulerian simulation. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol.224 P. 111219.
8. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Kokorin D.N. Strength of concrete structures under dynamic loading В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction". 2016. С. 070006.
9. Galyautdinov Z.R. Deformation of reinforced concrete slabs on yielding supports under short-time dynamic loading // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 2017. С. 040002.



10. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
11. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.
12. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.
13. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
14. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002.
15. Алексейцев А.В. Двухэтапный синтез структурных конструкций с использованием генетического алгоритма и тетраэдризации Делоне // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2013. Т. 9. № 4. С. 83-91.
16. Momeni M. et al. Damage evaluation of H-section steel columns under impulsive blast loads via gene expression programming. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 219, P. 110909.
17. Nam J.W. et al. Analytical study of finite element models for FRP retrofitted concrete structure under blast loads // Int. J. Damage Mech. 2009. Vol. 18, No 5. P. 461–490.
18. R. Castedo, M. Natale, L.M. López, J.A. Sanchidrián, A.P. Santos, J. Navarro, P. Segarra Estimation of Jones-Wilkins-Lee parameters of emulsion explosives using cylinder tests and their numerical validation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 112, December 2018, P. 290-301.

# К ОЦЕНКЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ПРОСАДОК ОСНОВАНИЯ

М. А. Оберемко, М. В. Кожевников, А. В. Алексейцев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

Предметом исследования является обеспечение безопасности железобетонных рам. При проектировании в ряде случаев имеет место отсутствие учета возможного образования локальных просадок основания, ведущих к мгновенному обрушению опоры, в связи с этим появляется проблема обеспечения несущей способности элементов при аварийных ситуациях. Цель работы заключается в анализе упрощенной методики оценки сопротивляемости прогрессирующему разрушению монолитной железобетонной рамы на упругом Винклеровском основании и жестком основании при аварийных просадках. При этом ставится задача минимизации суммы стоимости и рисков материального ущерба. Методом исследования служит алгоритм оценки аварийного деформирования плоской рамы при выключении из работы столбчатых фундаментов под торцевой и рядовой опорами. В результате подобраны удовлетворяющие поставленному критерию размеры сечений и армирования, проведено сравнение стоимости конструкции при жестких и податливых опорных закреплениях. Корректный учет условий работы конструкции, моделирования ее опорных закреплений и нагрузок на нее, и сложности расчетной схемы могут оказать существенное влияние на итоги проектного решения, на безопасность, стоимость материалов и производства.

## ВВЕДЕНИЕ

Оценка безопасности железобетонных конструкций в настоящее время является актуальной задачей. Эта актуальность связана с минимизацией риска социально-экономических потерь при возникновении аварийной ситуации, связанной с устранением опор из расчетной схемы конструкции. Одной из таких ситуаций является просадка основания. В настоящей статье рассматривается вариант рационального проектирования железобетонной рамной конструкции на упругом и жестком основаниях при перманентной локальной просадке с использованием программного комплекса STARK ES.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Значительное число работ посвящается проблеме обеспечения безопасности при запроектных воздействиях [1-5]. В ряде работ рассматривается исключение опор без учета податливости основания, в то время как реальная работа рамных конструкций подразумевает наличие деформированного основания. Расчеты железобетонных конструкций при аварийных ситуациях, одной из которых является локальная просадка основания, достаточно трудоемкие. Вследствие их многократной статической неопределимости имеет место перераспределение жесткостей, что не позволяет подобрать сразу оптимальные параметры сечений и армирование, для чего можно использовать методы оптимизации [6-12].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматриваемый нами алгоритм оценки НДС при аварийных ситуациях содержит ряд основных этапов:

- Создание расчетной схемы и КЭ-модели; статический расчет конструкции при эксплуатационной нагрузке.

- Определение динамического коэффициента на основе энергетического метода Г.А. Гениева, корректировка нагрузки с учетом динамического коэффициента;
- Оценка прочности конструкции для эксплуатационной и аварийной нагрузки;
- Выбор рационального поперечного сечения и армирования конструктивных элементов.

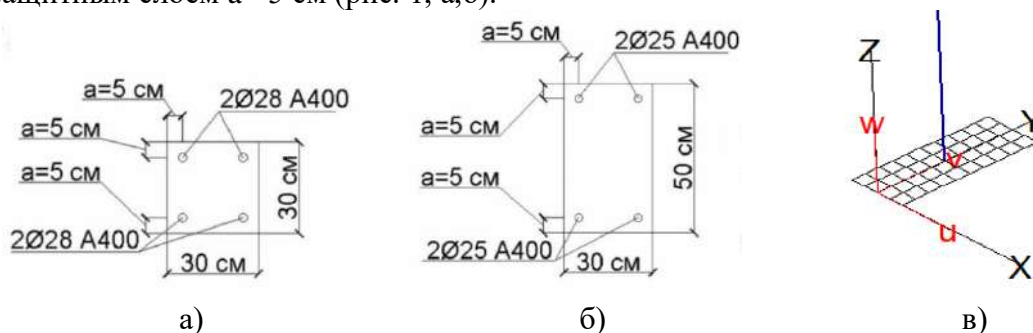
Объект исследования - пространственная стержневая система. Это рама с пролетами равными 4 метрам и высотой 8 метров, опертая на фундаментные плиты размерами 0.8x2x0.3 м. Назначение конструкции – производственное здание. Для сравнения рассматриваются два случая опорных закреплений: плиты находятся на упругом Винклеровском основании и абсолютно жесткое защемление основания. В качестве грунта принимается песок с модулем упругости 10 МПа, коэффициентом Пуассона – 0,35. В качестве нагрузок на раму принимаются постоянные нагрузки от собственного веса конструкции и нагрузка, заданная на пояса ригелей, равная  $q=20$  кН/м.

Рассматриваемые в данной работе системы имеют локальные повреждения, их расчет должен выполняться в постановке, учитывающей как физически и конструктивно нелинейные эффекты, так и большие перемещения. Динамические эффекты в таком расчете будут приближенно учтены динамическими коэффициентами, на величину которых повышается уровень нагруженности системы.

Динамический эффект от удаления связи может быть учтен на основе энергетического подхода Г.А. Гениева. Согласно этому методу, значение динамического усилия  $T_D$ , возникающего после исключения из расчетной схемы одной или нескольких опор, определяется зависимостью:  $T_D = 2T_S - T_{SA}$ , где  $T_{SB}$ ,  $T_{SA}$  – усилия системы постоянной жесткости, получаемые при статических расчетах системы с удаленными связями и неповрежденной системы.

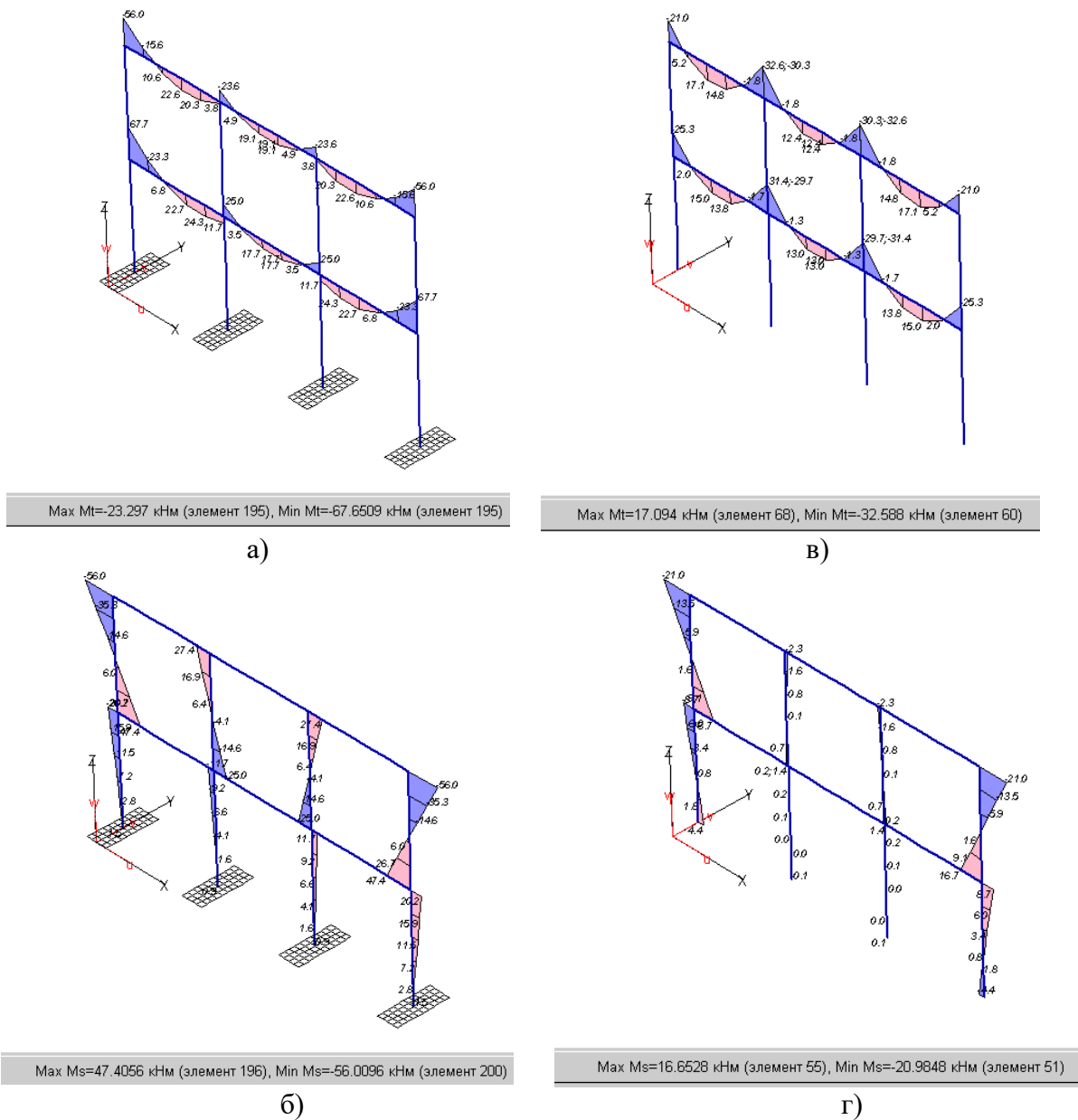
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При условии нормальной работы основания (без просадок) примем модель, состоящую из фундаментных плит, колонн сечением 0.3x0.5, ригелей 0.3x0.3 м. Для колонн и ригелей применяются бетон класса В25 и арматуры класса А-400. Схемой армирования является, установленная в углах симметричная арматура с диаметром 28 мм для ригелей и 25 мм для колонн и защитным слоем  $a=5$  см (рис. 1, а,б).



**Рис. 1.** Параметры сечения и арматуры для ригелей (а) и колонн (б) при нормальной работе основания

1. Предварительная оценка прочности элементов каркаса при нормальной работе конструкции на упругом основании и жестком основании. При проведении предварительной оценки прочности каркаса, результат которого приведен на рис. 2 коэффициент использования прочности по элементам при начальных параметрах сечения составляет меньше единицы, следовательно, нет необходимости увеличивать прочность конструкции.



**Рис. 2.** Результат предварительной оценки прочности элементов каркаса на упругом и жестком основании для принятых размеров сечения и армирования; эпюры моментов для неповрежденной системы на упругом основании для ригелей (а) и колонн (б) и на жестком основании для ригелей (д) и колонн (е)

2. Выполнение анализа напряженно-деформированного состояния варианта с локальным повреждением конструкции. Приведем результаты расчета для системы на упругом основании с исключенной из работы торцевой опоры. Для определения динамического коэффициента найдем максимальное значение момента в системе с исключенной торцевой опорой. Момент достигает своего максимального значения в сечении 1-1, равно 170,7 кНм. При неповрежденной конструкции значение усилия в том же сечении 1-1, равно 11,7 кНм. Значение динамического усилия равно максимальному моменту для поврежденной конструкции при динамическом нагружений:

$$T_D = M_{\max, D} = T_{SB} - T_{SA} = 2 \cdot 170,7 - 11,7 = 329,7 \text{ кНм.}$$

Максимальный момент для поврежденной конструкции при статическом нагружении соответствует усилию системы постоянной жесткости, получаемой при статических расчетах

системы с удаленной связью:  $M_{\max,S} = T_{SB} = 170,7 \text{ кНм}$ . Динамический коэффициент:

$$k_{d1} = \frac{M_{\max,D}}{M_{\max,S}} = \frac{329,7}{170,7} = 1,93. \text{ При рассмотрении исключения из конструкции на упругом}$$

основании средней опоры значение динамического коэффициента определяется аналогично и равно 1,59. Принимаем наибольшее значение, вычисленное при удалении одной из опор, на которое умножаем значение действующей нагрузки.

Выполнение анализа напряженно-деформированного состояния варианта с локальным повреждением конструкции на жестком основании выполняется аналогично. Значение динамического коэффициента равно 1,81 и 1,79 при удалении торцевой и рядовой опоры соответственно. Результаты подбора сечений для конструктивных элементов рамы на упругом основании при запроектных воздействиях приведены на рис. 3 и в таблице 1.



Рис. 3. Сечения колонн (а) и ригелей (б) при удалении средней опоры

Табл. 1. Результаты поиска параметров проектирования рамы

Задача	Нормальная Эксплуатация		Удаление торцевой опоры		Удаление рядовой опоры		Итоговое решение	
	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р
Упругое основание (УО)	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø25 А400	Сечение 0,3x0,3м В25, 4Ø28 А400	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø36 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А500	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø36 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А400	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø36 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А500
R, P	Нет аварии		181850		300496		181850	
dC, P	нет		80520		73800		80520	
Жесткое защемление (ЖЗ)	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø25 А400	Сечение 0,3x0,3м В25, 4Ø28 А400	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø40 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А500	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø40 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А400	Сечение 0,3x0,5м В25, 4Ø40 А400	Сечение 0,5x0,5м В25, 4Ø40 А500
R, P			181850		245624		181850	
dC, P	нет		103560		96840		103560	
C, P УО/ЖЗ	170720/193760							

Здесь R – риск материальных потерь принимаемы равным половине материального ущерба, dC – удорожание по сравнению с нормально эксплуатируемой конструкцией, C – полная стоимость рамы



## ВЫВОДЫ

1. Мгновенное исключение основания при нормальной эксплуатации рамных систем оказывает влияние на их механическую безопасность и может привести к прогрессирующему разрушению, что повлечет за собой значительный социально-экономический ущерб.

2. Учет динамических воздействий с использованием энергетического метода Г.А. Гениева при моделировании мгновенного исключения опоры приводит к увеличению стоимости рамной конструкции по сравнению с проектом нормальной эксплуатации системы в среднем на 14 %. При этом учитывается обеспечение ее живучести при любом сценарии выключения опорных связей.

3. Стоимость рамной конструкции при локальных авариях без учета податливости основания увеличивается на 18% по сравнению с конструкциями, где она учитывается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колчунов В.И., Моргунов М.В., Кожаринова Л.В., Прасолов Н.О. К вопросу алгоритмизации задачи расчета живучести железобетонных конструкций при потере устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 52-54.
2. Kabantsev O.V., Mitrovitch B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 012002.
3. Люблинский В.А., Тамразян А.Г. Безопасность несущих систем многоэтажных зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов // В сборнике: Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах. 2014. С. 90-99.
4. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. About the problem of analysis resistance bearing systems in failure of a structural element // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Т. 14. № 3. С. 103-113.
5. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
6. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.
7. Alekseytsev A.V., Gaile L., Drukis P. Optimization of steel beam structures for frame buildings subject to their safety requirements // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 7 (91). С. 3-15.
8. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.
9. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002
10. Алексейцев А.В. Двухэтапный синтез структурных конструкций с использованием генетического алгоритма и тетраэдризации Делоне // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2013. Т. 9. № 4. С. 83-91
11. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
12. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ ВСКРЫТИЯ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. Скворцова, Е. В. Бузаев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

В статье объектом рассмотрения является определения давления вскрытия легкобрасываемых конструкций в виде окон при дефлаграционном взрыве (далее взрыв). Так как взрывы являются частой проблемой различных предприятий, в том числе и жилых домов, необходимо использовать различные легкобрасываемые конструкции (сэндвич-панели, окна) для предотвращения разрушения здания.

Целью данного исследования является изучение процесса взрыва и действия легкобрасываемых конструкций (ЛСК) при аварийной ситуации. В этой статье описано от чего и при каких условиях изменяется давление вскрытия и как влияют предохранительные запорные устройства (ПЗУ) на процесс вскрытия ЛСК.

Эксперименты проводились в лаборатории на стенде для испытаний легкобрасываемых конструкций на воздействие внутреннего аварийного взрыва для светопрозрачных конструкций из ПВХ (окон) с помощью методики, описанной в ГОСТ'e Р 56289-2014.

Результатами исследования являются данные по давлению вскрытия ЛСК, которые показывают, как в зависимости от количества и места размещения ПЗУ и ряда других факторов изменяется давление вскрытия, как происходит сброс конструкции и в каком состоянии находится ЛСК после испытания.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать заключение о работоспособности ЛСК и обеспечение нормативного давления вскрытия. Применение испытанных и сертифицированных ЛСК позволяет использовать их в строительстве для обеспечения взрывоустойчивости зданий и сооружений.

## ВВЕДЕНИЕ

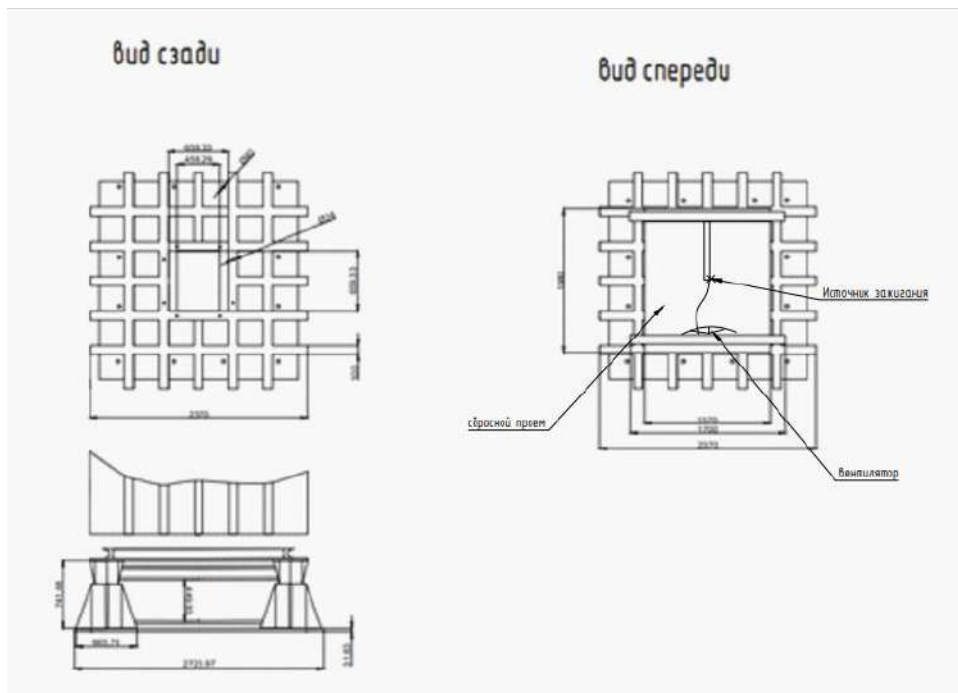
Легкобрасываемые конструкции (ЛСК) представляют собой наружные ограждающие конструкции, которые применяются для зданий и сооружений и в случае образования взрыва в помещении высвобождаются путем разгерметизации. ЛСК при аварийной ситуации делятся на два типа: инерционные, которые смещаются или создают прогиб в конструкции, создавая проем, и безынерционные, которые при взрыве выпадают из проема [2].

Основной функцией ЛСК является обеспечение взрывоустойчивости на предприятиях, которые осуществляют процессы, связанные с оборотом и применением горючих веществ. Таким образом следование нормативно-технической документации и использование легкобрасываемых конструкций позволяют исключить полное и/или частичное разрушение здания или сооружения, снижают возможность деформации конструкции [1].

В нашем исследовании мы рассмотрели и определили, как и при каком давлении вскрытия происходит сброс избыточного давления с помощью ЛСК, представленных в виде светопрозрачных конструкций из поливинилхлорида.

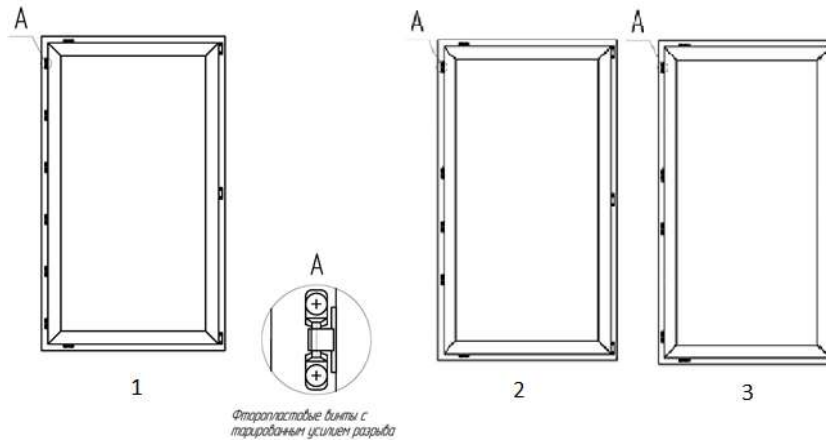
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования по определению давления вскрытия ЛСК проходили в испытательной лаборатории ИКБС НИУ МГСУ на установке для испытаний легкобрасываемых конструкций (ЛСК) на воздействие внутреннего аварийного взрыва (рис.1). В качестве образцов мы испытывали три поворотных легкобрасываемых светопрозрачных конструкций оконного типа из ПВХ профилей.



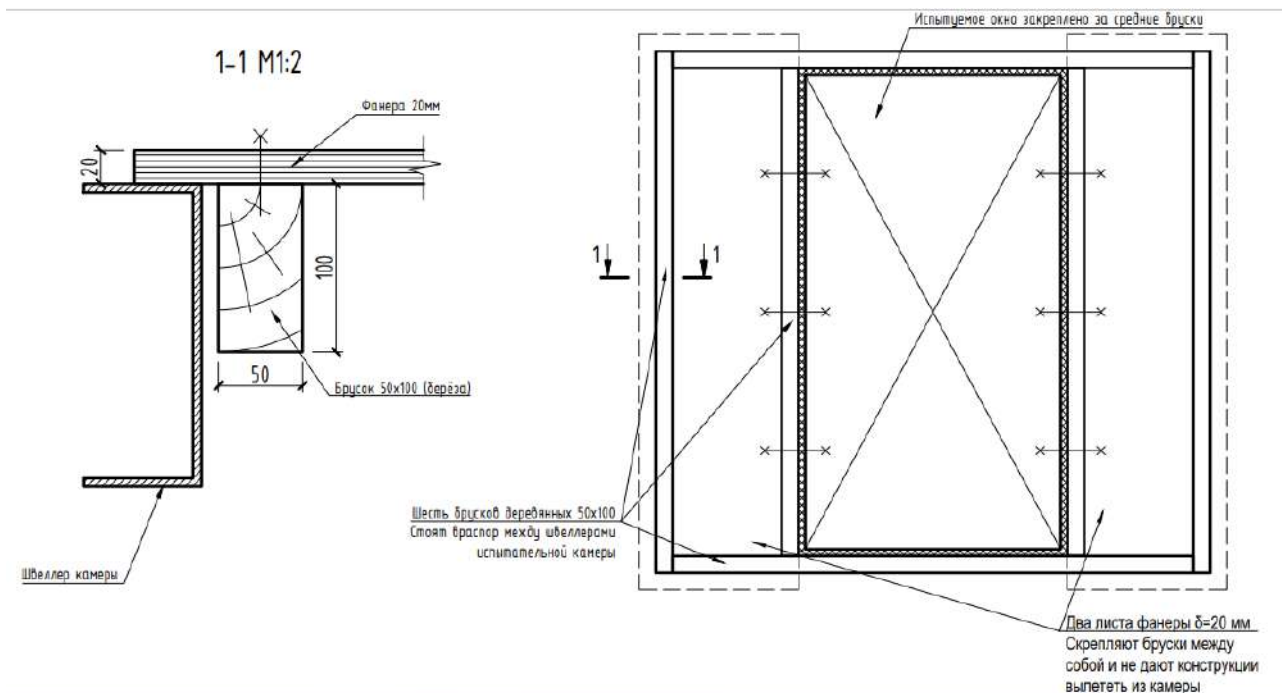
**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки.

Для каждого из образцов мы использовали различное количество предохранительных запорных устройств для того, чтобы понять, какое количество ПЗУ необходимо для обеспечения взрывобезопасности. Для 1-го испытания поворотная створка установлена в раму и зафиксирована при помощи 3 поворотных шарниров на одной грани и 6 ПЗУ на другой грани, представляющих собой ответные планки. Для 2-го и 3-го испытаний использовались 4 ПЗУ с разным размещением (рис.2).



**Рис. 2.** Размещение ПЗУ для 1-го, 2-го и 3-го образцов соответственно.

Эксперименты были проведены в соответствии с ГОСТ Р 56289-2014 «Конструкции светопрозрачные легкосбрасываемые для зданий. Методы испытаний на воздействие внутреннего аварийного взрыва». Испытания проводились при различных погодных условиях. В 1-ый день испытания были зафиксированы: температура окружающей среды +2,9 °С, атмосферное давление – 100,4 кПа, относительная влажность воздуха – 94 %. Во 2-ой день температура окружающей среды – +6 °С, атмосферное давление – 95,2 кПа, относительная влажность воздуха – 91 %. В 3-ий день температура окружающей среды – +2 °С, атмосферное давление – 100,5 кПа, относительная влажность воздуха – 84 %.



**Рис. 3.** Схема монтажа ЛСК к испытательной установке.

До начала проведения эксперимента проверялась геометрия проёма и сравнивалась с размерами устанавливаемой конструкции (рис.3). Также визуально проверена герметичность взрывной камеры, оттарированы датчики избыточного давления, подключены системы автоматизированного рабочего места (АРМ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и проверена их работоспособность. После этого началась подача газа (пропан-бутановая смесь) в взрывную камеру необходимое для создания стехиометрической концентрации количеством 400 литров.

Не позднее чем через 150 с после прекращения подачи газа осуществлялось ее воспламенение с помощью искры (рис.1), установленной в испытательной камере. После чего происходил взрыв. Во время испытаний производилась видеосъемка на высокоскоростной камере. После испытания производился демонтаж конструкции и фотофиксация. В процессе испытания в соответствии с требованиями п.7.5 ГОСТ Р 56289–2014 регистрировалось: изменение избыточного давления во времени внутри взрывной камеры с помощью датчиков избыточного давления, которые подключены к АРМ, процесс освобождения сбросного отверстия взрывной камеры от смещаемого элемента ЛСК и характер разрушения образца [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

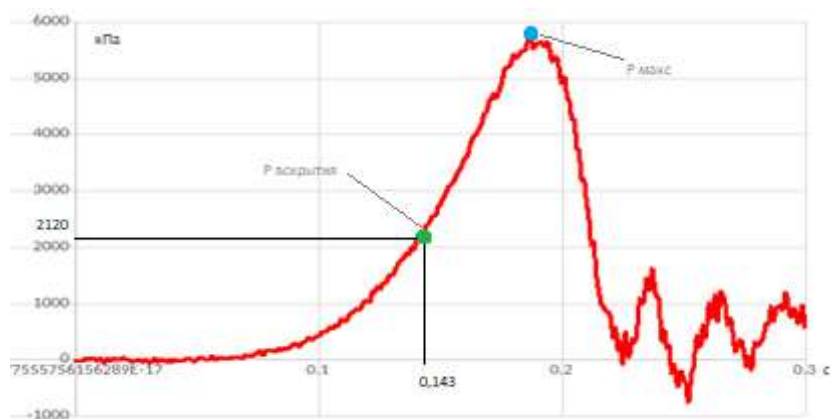
Результат выполненных экспериментов, где зафиксировано давление и время вскрытия конструкции, представлено в таблице 1.

**Табл. 1.** Экспериментальные данные, полученные в ходе испытания образцов

Номер образца ЛСК	Время вскрытия, с	Давление вскрытия, кПа
1	0,144	2,12
2	0,498	1,14
3	0,091	1,25

Детально рассмотрим 1-ое испытание. На рисунке 4 показано, как с течением времени происходит нарастание и сброс избыточного давления при испытании данного образца.





**Рис. 4.** Зависимость давления (Па) от времени (сек) при проведении испытания образца ЛСК №1.

Результаты показали, что давление вскрытия ЛСК меньше, чем максимальное избыточное давление. Но и оно не соответствует пункту 8.2 ГОСТ Р 56289–2014 - давление вскрытия конструкции требует составлять 0,7 кПа [3]. Процесс взрыва и сброса конструкции представлено на рисунках 5 и 6. После окончания проведения эксперимента на Образце 1 была вырвана нижняя петля, повреждена рама, частичное выпадение стекла (рисунок 7).



**Рис. 5.** Начало вскрытия образца ЛСК №1 в момент времени 144 мс.



**Рис. 6.** Образец ЛСК №1 в момент времени 500 мс.



**Рис. 7.** Образец ЛСК №1 после испытания.

При испытании образца №2 давление вскрытия в момент времени 0,498 мс был равен 1,14 кПа, а для образца №3 – в момент времени 0,091 мс 1,25 кПа, что также не соответствуют требованиям, установленными ГОСТом. На Образце 2 вырвана нижняя петля, стекло не пострадало. В результате проведения 3 испытания произошел отрыв ЛСК от рамы.



## ВЫВОДЫ

Проведя эксперименты, было установлено, что данные светопрозрачные конструкции не обеспечат взрывобезопасность в полной мере, так как давление, при котором вскрывались испытуемые образцы оказалось выше, чем допустимое согласно ГОСТу. Такую конструкцию нельзя использовать на объектах, на которых возможно возникновение взрыва.

В очередной раз подтверждается, что необходимо проводить сертификационные испытания продукции в специализированных лабораториях, что позволяет подтвердить работоспособность ЛСК и их применение для обеспечения безопасности людей и зданий

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбаков, А. В. Варианты оценки защищённости зданий при аварийных взрывах / А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов, А. Ю. Лебедев // Энергетическая политика. – 2020. – № 1(143). – С. 88-95. – DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_1143\_88. Комаров А.А. Основы обеспечения взрывобезопасности объектов и прилегающих к ним территорий // учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 91с.
2. ГОСТ Р 56289-2014 «Конструкции светопрозрачные легкобрасываемые для зданий. Методы испытаний на воздействие внутреннего аварийного взрыва»
3. Орлова, С. С. Особенности обеспечения взрывоустойчивости зданий / С. С. Орлова, Т. А. Панкова // Основы рационального природопользования : Материалы VII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 18–19 ноября 2021 года. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. – С. 121-123.
4. Павленко, А. О. Анализ повреждений конструкций зданий при взрывах / А. О. Павленко, Ю. В. Краснощеков // Техника и технологии строительства. – 2018. – № 3(15). – С. 19-23.
5. Мишуев, А. В. Воздушная ударная волна в сооружениях / А. В. Мишуев. – 2-е издание. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. – 408 с. – (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ). – ISBN 978-5-7264-1015-9.
6. Фролова, М. В. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с взрывоопасными производственными процессами / М. В. Фролова // Научные исследования высшей школы в области строительства и архитектуры : сборник статей Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 05 февраля 2018 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2018. – С. 125-132.

# УЧЁТ ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЁТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ

М. В. Карандеев, А. Г. Тамразян

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

Современные программные комплексы позволяют проводить расчёты на прогрессирующее обрушение в динамической постановке. Однако в существующих методах расчёта не учитывается множество факторов, которые будут влиять на стойкость несущей системы к прогрессирующему обрушению.

**Предмет исследования:** акцент сделан на свойстве бетона приобретать неупругие деформации во времени – ползучести. Это значит, что перед отказом элемента несущая система приобретёт дополнительные деформации и меняется деформированное состояние, что следует учесть при расчёте на прогрессирующее обрушение. В настоящее время это свойство не учитывается.

**Цели:** разработать способ учёта пластических деформаций при расчёте на прогрессирующее обрушение.

**Материалы и методы:** исследование методов расчёта железобетонных конструкций на прогрессирующее обрушение, анализ теоретической базы.

**Результаты:** получена формула для секущего модуля, учитывающая упругие и пластические свойства бетона, которая может быть применена при расчёте на прогрессирующее обрушение.

**Выводы:** выведена формула для учёта ползучести и динамического эффекта в железобетонной конструкции перед отказом элемента при расчёте на прогрессирующее обрушение.

## ВВЕДЕНИЕ

Расчёт на прогрессирующее обрушение на сегодняшний день представляет большой интерес с научной точки зрения. При рассмотрении данной темы исследуются вопросы механизма обрушения, методов расчёта и способов борьбы с таким явлением. Стоит также учесть, что свой вклад вносит время и предыстория состояния несущей системы. Дело в том, что традиционный статический расчёт и расчёт с поэтапным нагружением, моделирующий возведение здания, дают разные результаты. Несущая система будет деформироваться по-разному [1]. Отдельно стоит выделить, что деформации конструкции со временем возрастают, по своей природе являются неупругими и в несколько раз превосходят по величине обратимые деформации. Так проявляется свойство бетона – ползучесть. Кроме того, в бетоне также образуются трещины. Жёсткость конструкции падает. Соответственно, перед отказом элемента в какой-то момент эксплуатации здания несущая система будет иметь иное напряжённо-деформированное состояние (НДС). Это может значительно повлиять на стойкость системы к прогрессирующему обрушению и результаты расчёта [2].

В данной работе сделан акцент именно на том, как учесть ползучесть бетона, попытаться учесть предысторию нагружения. При рассмотрении первой части вопроса понятно, что ползучесть приводит к появлению необратимых пластических деформаций. Даже после того, как все нагрузки будут убраны, несущая система не сможет вернуться в исходное положение и примет какое-то новое. При любом изменении в воздействиях изменения в НДС системы следует рассматривать с учётом этого. Попытка учесть вторую часть вопроса имеет большие трудности. В настоящее время реализация в расчётной модели поэтапного нагружения и прогрессирующего обрушения совместно трудно реализуемо.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Вопросы, связанные с ползучестью и прогрессирующим обрушением, рассматривались во множестве статей и книг независимо друг от друга.

Тема ползучести изучалась ещё с первой половины 20 века и изучается поныне [3]. Она собрала большой объём исследований и трудов. За основу была взята книга Н. Х. Арутюняна [4].

Тема прогрессирующего обрушения стала изучаться с 1970-х. Вопросы, связанные непосредственно с расчётами в программных комплексах и проблемами в данной области, рассмотрены в статье [5] и, в основном, на семинарах, организованных компаниями-разработчиками программных комплексов [6].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В начале обратимся к наследственной теории старения. Полная продольная относительная деформация в момент времени  $t$  от единичного напряжения, появившегося в возрасте  $\tau$ , выражается так [4]:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \quad (1)$$

где  $E(\tau)$  - модуль упругости бетона;  $C(t, \tau)$  – мера ползучести бетона.

В общем случае использование двух временных параметров гораздо лучше отражает состояние бетона при его нагружении, поскольку учитывается порядок возведения элементов конструкций. Для железобетонных конструкций основная нагрузка – собственный вес. Для стен и перекрытия моментом приложения нагрузки можно принять снятие опалубки последней. При этом стены бетонируются раньше, а потому и параметры  $E(\tau)$  и  $C(t, \tau)$  будут разными.

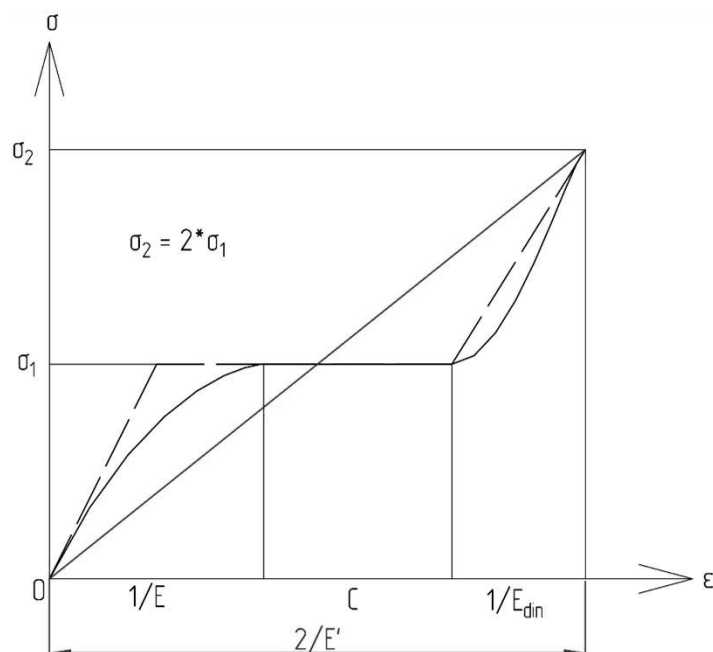
При рассмотрении второй части вопроса принят самый опасный случай отказа элемента, который происходит скоротечно в процессе эксплуатации. Такой случай сопровождается появлением динамического эффекта и приводит к значительному росту напряжений и деформаций [7]. Тогда в расчётах следует использовать динамический модуль упругости, принятый в таком виде [8]:

$$E_{\text{дин}}(\tau) = \frac{E(\tau)}{0.83} \quad (2)$$

Задача на прогрессирующее обрушение в динамической постановке позволяет частично учесть предысторию загрузки. В программном комплексе SCAD (функция «Прямое интегрирование») сначала задаются все постоянные и длительные нагрузки, отчего произойдёт деформация расчётной схемы («квазимонтаж»). После этого с задержкой по времени моделируется отказ элемента.

Конечная полная относительная деформация будет являться суммой упругой, пластической и динамической составляющих (рис. 1). Приняв, что приращения усилий в элементе до ( $\sigma_1$ ) и после ( $\sigma_2 - \sigma_1$ ) отказа равны, получим:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) + \frac{1}{E_{\text{дин}}(\tau)} = \frac{2}{E'(\tau)} \quad (3)$$



**Рис. 1.** Пример диаграммы  $\sigma$ - $\varepsilon$  в случае отказа элемента в процессе эксплуатации  
 На основе формулы (3) получен секущий модуль, учитывающий ползучесть и динамический эффект от отказа (далее секущий модуль):

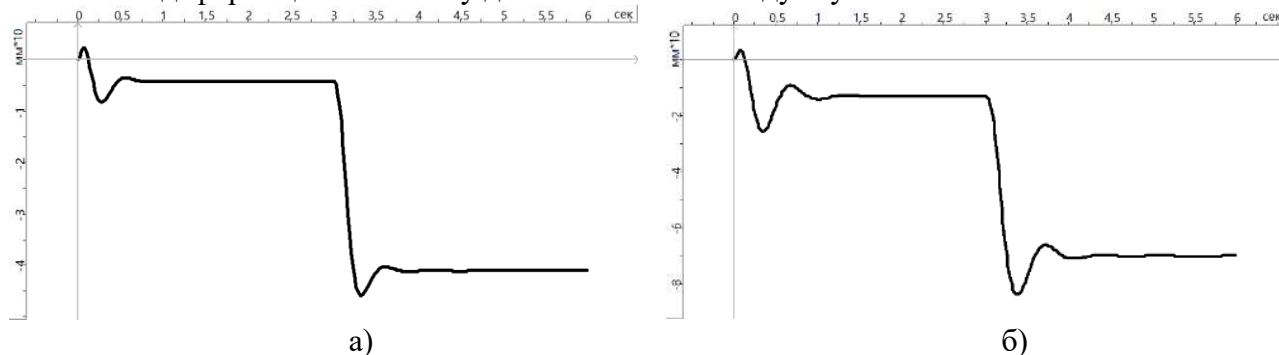
$$E'(\tau) = \frac{2 * E(\tau) * E_{дин}(\tau)}{E_{дин}(\tau) + E_{дин}(\tau) * E(\tau) * C(t, \tau) + E(\tau)} \quad (4)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведём расчёт тестовой модели 16-ти этажного здания. В центре располагается ядро из стен. По периметру – колонны. Принято, что произошёл отказ колонны ближе к центру фасада на первом этаже. Класс бетона по прочности – В25. Соответственно, получим следующие значения характеристик:  $E=30000$  МПа,  $C=7*10^{-5}$  МПа<sup>-1</sup>,  $E'=15267$  МПа. При этом  $E/E'=0.509$ .

В данной работе все характеристики приняты на основе таблиц и норм. Для меры  $C$  принято среднее значение для класса В25. Для определения точных значений требуется провести серию опытов и учесть множество факторов, влияющих на ползучесть [9].

Были проведены два расчёта на прогрессирующее обрушение с использованием обычного модуля упругости  $E$  (рис. 1а) и модулем  $E'$  (рис. 1б). Для сравнения были проанализированы прогибы перекрытия непосредственно над отказавшим элементом. Итого: увеличился прогиб. Кроме того, удалось в упрощённом виде замоделировать деформации модели до отказа. Видим, что при учёте влияния ползучести происходит значительное изменение деформаций. А потому данное свойство следует учитывать.



**Рис. 2.** Прогиб перекрытия над отказавшим элементом при использовании: а) модуля упругости  $E$ ; б) модуля  $E'$

Введём коэффициент  $k$ , равный отношению приращений напряжений до и после отказа. В данном случае он равен:

$$k = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1} = 1 \quad (5)$$

Стоит уточнить, что такая ситуация случается крайне редко. В реальности во всех элементах эти приращения будут отличаться по-своему. Может произойти ситуация, при которой  $k < 0$ . Брать для всех элементов один модуль  $E'$  некорректно. Исправим формулы (3) и (4):

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) + \frac{k}{E_{\text{дин}}(\tau)} = \frac{1+k}{E'(\tau)} \quad (6)$$

$$E'(\tau) = \frac{(1+k) * E(\tau) * E_{\text{дин}}(\tau)}{E_{\text{дин}}(\tau) + E_{\text{дин}}(\tau) * E(\tau) * C(t, \tau) + k * E(\tau)} \quad (7)$$

Полученная формула учитывает то, что в некоторых элементах после наступления отказа может произойти как догружение (дополнительное сжатие), так и разгружение (растяжение) из-за перераспределения усилий. При  $k=0$  динамический модуль сократится и получится формула, близкая к формуле модуля деформации. Это состояние соответствует моменту времени до отказа элемента, при котором накопились неупругие деформации. При этом можно получить значение модуля в любой момент времени после отказа в любом элементе. Для этого достаточно знать значения напряжений  $\sigma_2$  в них.

## ВЫВОДЫ

На основе наследственной теории старения была получена формула текущего модуля, которая позволяет учесть ползучесть бетона. Она учитывает большой перечень факторов: изменение НДС, динамический эффект от отказа элемента, класс и свойства бетона, время приложения нагрузки. В результате может измениться не только количественно, но и качественно НДС несущей системы. В отдельных задачах это приведёт к необходимости изменений таких параметров конструкции, как толщина элементов, класс бетона и площадь армирования.

Предложенная концепция к расчёту на прогрессирующее обрушение может стать основой для разработки нового метода и модуля программного комплекса и учесть дополнительные факторы. Это поможет при проектировании новых и при составлении прогнозов состояния несущей системы существующих зданий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанцев О.В, Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 15-26.
2. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30-32.
3. Арленинов П.Д. Деформирование и устойчивость сжатых и внецентренно-сжатых стержневых железобетонных элементов с учётом ползучести и трещинообразования // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук // 05.23.01 — Строительные конструкции, здания и сооружения. 2016 г.
4. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. // ГИТТЛ. 1952. 324 с.
5. Перельмутер А.В. Реализация расчёта монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса «SCAD Office» // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 13-18.
6. Перельмутер А.В., Криксунов Э.З., Мосина Н.В. Прогессирующее обрушение и динамика конструкции при внезапном разрушении элемента. // Материалы семинара SCAD. Москва. 2017.



7. Тамразян А.Г. Ресурс живучести - основной критерий проектных решений высотных зданий // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 15-18.
8. Бабанов В.В., Евсеев В.А. Назначение жесткостных параметров железобетонных конструкций в конечно-элементных динамических расчетах сооружений. // Жилищное строительство. 2017. С. 26-29.
9. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. // Стройиздат. 1979. 344 с.

# ЖИВУЧЕСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С СОСТАВНЫМИ РИГЕЛЯМИ

А. Ю. Горохов, В. И. Колчунов

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

## Аннотация

Предметом исследования является проверка влияния наклонного армирования в одном и двух направлениях в составных конструкциях ригеля железобетонной рамной системы каркаса здания на живучесть таких систем при особых и аварийных воздействиях. Помимо проблемы живучести составных конструкций, рассматривается ещё одна, а именно: разрушение по шву контакта в следствие его недостаточного армирования.

Цель исследования – это определение расчетных параметров деформирования статически неопределимых железобетонных составных конструкций при поперечном и наклонном расположении поперечной арматуры и особых воздействиях, вызывающих внезапное изменение силовых потоков, с учетом специфики деформирования и конструктивных особенностей исполнения шва контакта, направленные на повышение живучести таких конструкций.

Моделирование и линейный расчет конструкции производятся в ПК ЛИРА САПР с последующим определением характерных параметров деформаций, напряжений в бетоне и усилий в арматуре до и после выключения несущей колонны.

В результате исследования предполагается решить возникшие проблемы путем постановки двойных каркасов арматуры. Такое решение повысит живучесть конструкции благодаря учету изменения силовых потоков при выходе из работы одной из опор системы, а также увеличит процент армирования в шве контакта.

Таким образом, разработанные расчетная модель и варианты схем армирования железобетонного ригеля составного сечения могут быть использованы при проектировании рамных конструкций железобетонных каркасов зданий повышенной живучести.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличивающимися объемами реконструкции зданий и сооружений расширяется применение железобетонных сборно-монолитных и многослойных конструкций различного типа, которые по своим конструктивным особенностям и специфике силового сопротивления можно отнести к классу составных конструкций. Поэтому масштаб использования таких конструкций постоянно растет. Составные конструкции наряду с обычными могут подвергнуться особым воздействиям. При этом в них могут возникать непропорциональные отказы и даже прогрессирующее обрушение, последствия от которого могут быть катастрофическими. В частности, представляет актуальность решение задачи о силовом сопротивлении железобетонных составных конструкций при наклонном расположении поперечной арматуры для случая изменения в них распределения силовых потоков.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

При постановке цели и задач ВКР был проведен анализ ряда отечественных и зарубежных исследований. Фундаментальные положения теории составных конструкций заложены в трудах А.Р. Ржаницына, Г.А. Гениева, В.З. Власова, И.Е. Милейковского, П.А. Лукаша, В.И. Травуша и др. [1, 2].

Экспериментальные и теоретические исследования, с целью изучения особенностей расчета и конструирования железобетонных составных элементов, представлены в работах Х.З. Баширов, В.И. Колчунова, И.С. Горностаева, В.М. Бондаренко, Ю.В. Чиненкова, Е.А. Король, Н.И. Карпенко, В.И. Римшина, Mirzakhid Khamitovich Miralimov и др. [3, 4].

Вопросы, касающиеся прочностных и деформативных параметров контактной зоны, рассмотрены в экспериментально-теоретических исследованиях Вл.И. Колчунова, Н.В. Федоровой, Я.Е. Колчин, Е.А. Король, А.И. Демьянова, Л.А. Панченко, Е.А. Скобелевой, С.Ю. Савина и др. [5, 6].

Отдельные задачи, посвященные особенностям работы и обеспечению живучести составных железобетонных конструкций при особых воздействиях и защите от прогрессирующего обрушения, рассмотрены в трудах Н.В. Федоровой, Н.В. Ключевой, В.И. Колчунова, Ю.П. Назарова, А.С. Городецкого, В.М. Бондаренко, Г.А. Гениева, А.Г. Тамразяна, А.В. Перельмутера, О.В. Кабанцева, J. Weng и др. [7-10].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

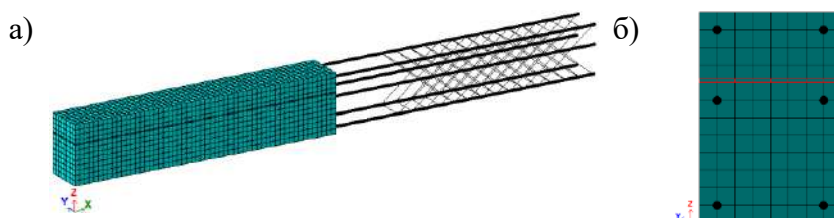
Для достижения поставленной цели применяется метод моделирования и анализа, потому что проведение натурного эксперимента – это следующая ступень, которую стоит рассматривать после получения положительных результатов в программе. Таким образом, был произведен линейный расчет в ПК ЛИРА САПР. Объектом расчета являлась железобетонная рама с двумя пролетами по 6 м и высотой 9 этажей по 3,9 м. Моделирование рамы осуществлялось объемными КЭ 36 для бетона и шва контакта, а также КЭ 10 для арматуры, задаваемой жесткостью типа «Круг». В модели будет показано только первые 3 этажа, а остальные будут заменены эквивалентной нагрузкой от вышележащих этажей. Для этого нагрузки суммируются с помощью команды «Просуммировать нагрузки» и прикладываются к колоннам 3-го этажа. В качестве нагрузок будут использоваться: собственный вес колонн и ригеля (определяемые автоматически), а также равномерно распределенные нагрузки, приложенные к верхней грани ригеля: вес ребристой плиты перекрытия высотой 300 мм ( $2,1 \text{ кН/м}^2$  – нормативная нагрузка или  $2,31 \text{ кН/м}^2$  – расчетная); вес пола ( $1,2 \text{ кН/м}^2$  – стандартное нормативное значение или  $1,56 \text{ кН/м}^2$  – расчетное); полезная нагрузка на перекрытие ( $2,0 \text{ кН/м}^2$  – минимальное нормативное значение согласно табл. 8.1 п.2 СП 20.13330.2016 или  $2,4 \text{ кН/м}^2$  – расчетное). В итоге, суммарная нормативная равномерно распределенная нагрузка составит  $5,30 \text{ кН/м}^2$ , а расчетная –  $6,27 \text{ кН/м}^2$ . Колонна и ригель жестко соединены между собой и приняты сечением  $400 \times 400$  мм из бетона классов В30 и В25 соответственно. При удалении одной из крайних опор ригель будет работать по схеме консоли, поэтому для восприятия растягивающих усилий в верхней части проектируется монолитная часть ригеля  $200 \times 400$  мм классом В40 со швом контакта равным 10 мм. Чтобы учесть деформативность шва в зоне контакта двух бетонов составного ригеля, для шва контакта был задан модуль упругости на 2 порядка ниже, чем для бетона класса В25. В качестве продольной арматуры в составном ригеле использованы стержни  $\varnothing 28 \text{ A500}$  (в качестве наклонной/поперечной арматуры стержни диаметром  $\varnothing 12 \text{ A240}$ ), а в колонне –  $\varnothing 20 \text{ A500}$ .

Расчет производится для трех сценариев:

- 1) при действии эксплуатационной нагрузки на конструктивную систему всей рамы (первичная расчетная схема);
- 2) то же, но при удалении средней колонны на 1-м этаже.
- 3) то же, что в (1), но при удалении крайней колонны на 1-м этаже.

При этом было рассмотрено три различных варианта постановки поперечной арматуры в приопорных участках (на  $1/4$  длины балки) составного ригеля:

- а) поперечное расположение стержней под углом  $90^\circ$  с шагом стержней 200 мм;
- б) наклонное расположение стержней под углом  $45^\circ$  с шагом стержней 150 мм;
- в) расположение стержней как в (б), но ортогонально в двух направлениях (рис. 1).



**Рис. 1.** Расчетная модель: общий вид (а) и поперечное сечение (б) ригеля при наклонном расположении стержней в двух взаимно ортогональных направлениях.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Итоги исследований сведены в таблицы 1-2.

**Табл. 1.** Сводная таблица результатов по первичной схеме

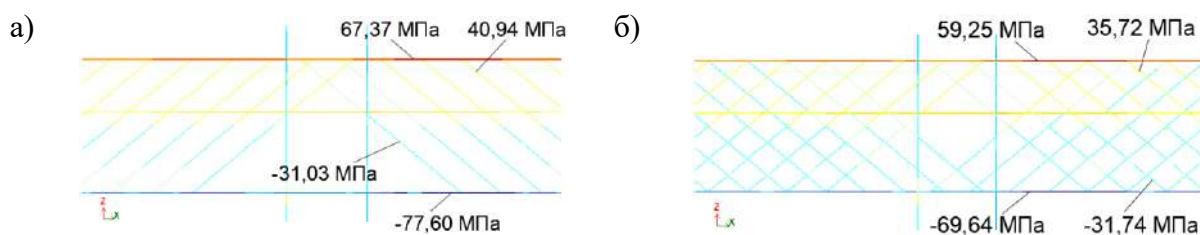
Наименование	Из расчета по первичной расчетной схеме		
	Постановка арматуры а)	Постановка арматуры б)	Постановка арматуры в)
Прогибы, мм	0,60	0,66	0,60
Максимальные напряжения в бетоне, МПа	0,90 -1,47	0,98 -1,62	0,91 -1,46
Максимальные напряжения в поперечной арматуре, МПа	2,39 -6,75	5,06 -2,28	4,49 -3,74
Максимальные напряжения в продольной арматуре, МПа	4,58 -4,98	5,05 -5,02	4,64 -4,55
Касательные напряжения $\tau_{xz}$ в шве контакта, МПа	0,079 -0,074	0,096 -0,094	0,082 -0,078
Касательные напряжения $\tau_{xy}$ в бетоне, МПа	0,18 -0,18	0,25 -0,18	0,10 -0,09
Касательные напряжения $\tau_{xz}$ в бетоне, МПа	0,83 -0,83	0,93 -0,93	0,83 -0,83
Касательные напряжения $\tau_{yz}$ в бетоне, МПа	0,09 -0,09	0,03 -0,43	0,05 -0,05

**Табл. 2.** Сводная таблица результатов по вторичной схеме

Наименование	Из расчета по вторичной расчетной схеме (средняя колонна)			Из расчета по вторичной расчетной схеме (крайняя колонна)		
	Постановка арматуры а)	Постановка арматуры б)	Постановка арматуры в)	Постановка арматуры а)	Постановка арматуры б)	Постановка арматуры в)
Прогибы, мм	5,68	6,39	5,66	17,9	20,4	17,8
Максимальные напряжения в бетоне, МПа	9,18 -8,64	10,30 -9,67	9,12 -8,59	14,20 -16,9	16,10 -19,20	14,10 -16,70
Максимальные напряжения в поперечной арматуре, МПа	15,65 -26,53	25,38 -20,34	22,28 -17,77	29,09 -47,21	40,94 -31,03	35,72 -31,74
Максимальные напряжения в продольной арматуре, МПа	36,69 -33,28	41,07 -36,69	36,85 -32,47	58,44 -69,32	67,37 -77,60	59,25 -69,64
Касательные напряжения $\tau_{xz}$ в шве контакта, МПа	0,37 -0,37	0,42 -0,42	0,36 -0,36	0,58 -0,55	0,66 -0,65	0,57 -0,57
Касательные напряжения $\tau_{xy}$ в бетоне, МПа	0,72 -0,71	0,78 -0,72	0,41 -0,41	1,09 -1,09	1,05 -1,12	0,60 -0,60
Касательные напряжения $\tau_{xz}$ в бетоне, МПа	3,58 -3,58	4,02 -4,02	3,61 -3,61	3,91 -5,56	4,45 -6,35	3,90 -5,56
Касательные напряжения $\tau_{yz}$ в бетоне, МПа	0,24 -0,24	0,20 -0,81	0,36 -0,36	0,50 -0,50	0,59 -1,34	0,42 -0,42

Примечание: при определении напряжений число сверху показывает напряжения при растяжении, а снизу в скобках – при сжатии.

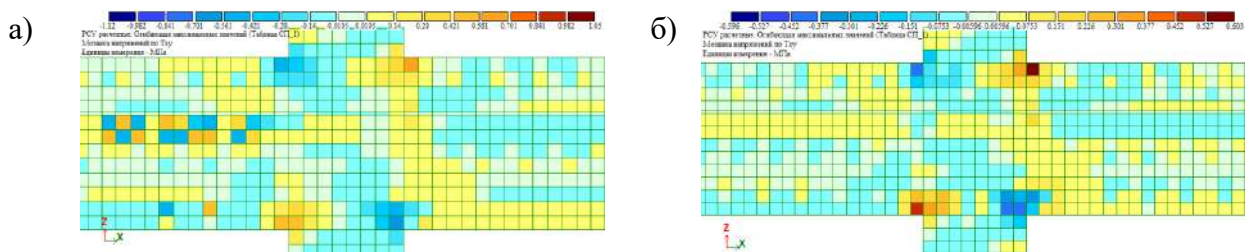
Также представлены на рис. 2 усилия, возникающие в арматуре при наклонном расположении поперечной арматуры в одном и двух направлениях и показывающие эффективность применения двойных каркасов.



**Рис. 2.** Усилия в наклонной арматуре ригеля при выходе из работы крайней колонны 1-го и постановке наклонного армирования: а) в одном направлении; б) в двух направлениях.



Напряжения, возникающие в бетоне при различной постановке поперечного армирования, имеют наибольшие значения при наклонном армировании в одном направлении. В то время как поперечное армирование под  $90^\circ$  и использование двойных каркасов практически одинаковы, кроме ситуации, когда ригель работает как консоль. В этом случае происходит изменение силовых потоков, которое способно воспринять только армирование в двух направлениях, поэтому возникающие в бетоне касательные напряжения  $\tau_{xy}$  (от которых зависит развитие трещин по наклонным сечениям), примерно в 1,75 раза меньше при использовании двойных каркасов (рис. 3). Причем важно не только значение напряжений, но и характер их распределения. И в двойных каркасах концентрация этих напряжений возникает только по углам ригеля, в то время как для наклонных стержней в одном направлении и при поперечном расположении арматуры концентрация касательных напряжений возникает в местах постановки такой арматуры на приопорных участках.

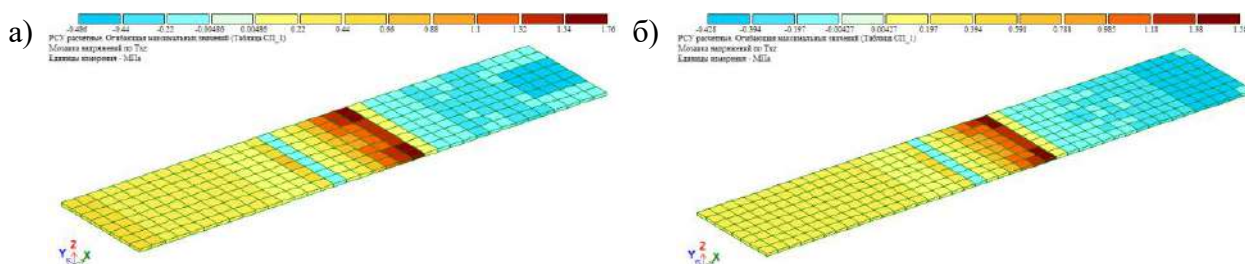


**Рис. 3.** Касательные напряжения  $\tau_{xy}$  в бетоне при выходе из работы крайней колонны 1-го этажа и постановке наклонного армирования:  
а) в одном направлении; б) в двух направлениях.

Примечательно, что касательные напряжения, возникающие в шве контакта (рис. 4), практически одинаковые для поперечного армирования и двойных каркасов, а в наклонном армировании они даже примерно в 1,15 раза больше. Это означает, что сдвигающая сила в шве не изменяется, но меняется предельное значение сдвигающей силы, воспринимаемой зоной контакта, за счет увеличения жесткости шва (исходя из формулы (1), которую приводил в своей диссертации Колчин Я.Е. [6]). А при использовании двойных каркасов жесткость шва будет наибольшей.

$$T \leq Q_{ult} \quad (1)$$

где  $T$  – суммарное сдвигающее усилие в плоскости сопряжения смежных элементов;  $Q_{ult}$  – предельное сдвигающее усилие, воспринимаемое контактной зоной.



**Рис. 4.** Максимальные касательные напряжения  $\tau_{xz}$  в шве контакта при выходе из работы крайней колонны 1-го этажа и постановке наклонного армирования:  
а) в одном направлении; б) в двух направлениях.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) построены расчетные модели для анализа деформирования и разрушения приопорных узлов рамных систем с различными вариантами поперечного армирования;

- 2) отображена картина напряженно-деформированного состояния при различных вариантах поперечного армирования и на различных стадиях деформирования составной железобетонной конструкции;
- 3) показано, что постановка наклонных стержней в двух направлениях в составных конструкциях обеспечивает защиту от разрушения по наклонным сечениям приопорных зон конструкций.

В итоге, постановка наклонной арматуры в двух направлениях исключает возможность разрушения по бетону между наклонными стержнями при изменении силовых потоков в ригеле, а также является дополнительным армированием для шва контакта между двумя классами бетона одного ригеля. Это может быть использовано для конструирования защиты таких элементов при особых воздействиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницын А.Р. Теория составных стержней строительных конструкций [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Госстройиздат, 1948. – 192 с.
2. Гениев Г.А., Колчунов В.И. и др. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях: монография. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
3. Баширов Х.З. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений / Баширов Х.З., Колчунов В.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 248 с.
4. Mirzakhid Khamitovich Miralimov Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures Considering Plastic Deformation // Applied Mechanics and Materials: 802 (2015) 231-236. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.802.231.
5. Fedorova N.V., Gubanova M.S., Savin S.Yu. Deformation of intermediate zones of two-layers elements of reinforced concrete structures // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1425 (2020) 012063. Doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012063.
6. Колчин Я.Е. Деформирование и разрушение зон контакта элементов составных железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук. – Орел: 2011. – 176 с.
7. Колчунов В.И., Ключева Н.В. и др. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях / Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 208 с.
8. Тамразян А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 77-83.
9. Кабанцев О.В., Митрович Б. К выбору характеристик предельных состояний монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6 (378). С. 234-241.
10. Weng J., Lee C.K., Tan K.H., Lim N.S. Damage assessment for reinforced concrete frames subject to progressive collapse // Engineering Structures. 2017. Vol.149. Pp. 147–160. Doi: 10.1016/j.engstruct.2016.07.038.

# ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ОДНОСВЯЗНОЙ ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ

А. Н. Тютенкова, В. А. Люблинский

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

При проектировании конструкций по существующим нормам реальный уровень их надежности остается неопределённым. Расчет строительных конструкций, отражающих их реальное поведение в эксплуатации, должен в полной мере опираться на теории надежности, основанной на вероятностных методах, позволяющих более объективно оценить пригодность конструкции к ее нормальной эксплуатации. В статье представлены оценки вероятности безотказной работы односвязной диафрагмы жесткости многоэтажного здания.

**Предмет исследования:** В качестве объекта исследования была выбрана расчетная модель односвязной диафрагмы жесткости, которая состоит из двух железобетонных стен высотой 60 м, толщиной 200 мм, соединенных между собой перемычками. Класс бетона принят В25.

**Цели:** Целью данной работы является анализ влияния податливости, высоты здания и класса бетона на безотказность работы односвязной диафрагмы жесткости.

**Результаты:** Для решения поставленной задачи была проведена серия численных экспериментов с объектом исследования, представленным в виде дискретно-континуальной математической модели.

**Вывод:** В ходе численных экспериментов получены зависимости безотказной работы диафрагмы жесткости от ряда параметров – класса бетона, высоты конструкции, податливости перемычек.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обеспечение механической безопасности зданий, сооружений и их конструкций регулируется нормативными правовыми актами [1], основанными на полувероятностном методе предельных состояний с использованием коэффициентов надежности. Методы расчета, заложенные в стандартах, не позволяют проектировщику получить количественные показатели надежности разрабатываемого объекта. Имеющаяся качественная характеристика надежности является субъективной, существенно зависит от квалификации экспертов и часто приводит к нецелесообразным экономическим решениям, в том числе тем основано на личной перестраховке конструктивных решений в процессе проектирования. С другой стороны, возможны случаи, когда надежность объектов повышенной ответственности ниже, чем объектов нормального и пониженного уровней. Следует также отметить, что в настоящее время повреждения и дефекты конструкций часто являются результатом ошибок проектирования [2].

Реальное сооружение и его условия эксплуатации отличаются от идеализированной расчетной модели и условий, рассматриваемых на стадии проектирования. Фактические напряжения, деформации и перемещения являются случайными величинами из-за случайного характера внешних воздействий, прочностных и др. внешних условий [3].

Расчет строительных конструкций, отражающих их реальное поведение в эксплуатации, должен в полной мере опираться на теории надежности, основанной на вероятностных методах, позволяющих более объективно оценить пригодность конструкции к ее нормальной эксплуатации [4].

В настоящее время во многих областях техники широко используются методы статического моделирования, это касается и инженерных исследований в строительстве. И не только из-за сложности получения строгих решений с учетом неопределенности, но и

потому, что во многих случаях невозможно получить достаточную статическую информацию из физических экспериментов [5].

Так натурные испытания можно смоделировать с помощью численных методов. Для вероятностного расчета многоэтажных зданий был разработан алгоритм, в основу которого заложена дискретно-континуальная модель (ДКМ) в сочетании с методом статистических испытаний. А именно в работе применяется метод Монте-Карло [6].

Методы статического моделирования предполагают обязательное знание статистик входных случайных параметров. Затем каждое испытание состоит из выбора множества значений входных параметров, выполнения детерминированного расчета конструкций и получения множества выходных параметров. Испытание повторяется  $n$  раз, и статистики реакции вычисляются по выборке ее значений [7].

Целью данной работы является анализ влияния податливости, высоты здания и класса бетона на безотказность работы односвязной диафрагмы жесткости.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования была выбрана расчетная модель односвязной диафрагмы жесткости, которая состоит из двух железобетонных стен высотой 60 м, толщиной 200 мм, соединенных между собой перемычками. Класс бетона принят В25.

Для решения поставленной задачи была проведена серия численных экспериментов с объектом исследования, представленным в виде дискретно-континуальной модели.

Статические испытания проводились по программе, написанной на языке программирования Python.

В начале исследования была произведена проверка гипотезы о необходимости проведения 10000 испытаний и более. Это связано с тем, что для повышения точности результата должна быть накоплена как можно большая статистика. Предварительные расчеты показали устойчивое решение при количестве испытаний более 400000. Далее при проведении численных экспериментов принималось количество статистических испытаний равное 500000.

Генерирование случайных чисел происходит с нормальным законом распределения. Как правило, алгоритмы для (псевдо) генераторов случайных чисел на персональных компьютерах генерируют последовательность чисел, которая подчиняется равномерному распределению. Однако многие физические величины имеют распределение, близкое к нормальному, что реализуется различными видами специальных датчиков, используемых в криптографии. [9]. Основываясь на действующих нормативных правовых актах значения прочности бетона на сжатие стремятся к нормальному закону распределения и описываются такими показателями, как стандартное отклонение, коэффициент вариации и математическое ожидание. Для получения случайного числа, подчиняющегося нормальному закону распределения, существуют специальные алгоритмы. В программе Python используется случайная нормальная функция Numpy в Python. Функция Numpy random normal() генерирует массив заданной формы и заполняет его случайными значениями, которые на самом деле являются частью нормального распределения. Генерирование случайной нагрузки записывалось следующим образом:  $P = np.random.normal(100,110.0, size=1)$ . Нормальный закон распределения был принят для прочности бетона, арматуры и внешней вертикальной нагрузки.

Определение усилий  $N$  и  $M$  при действии удельно неравноной внецентренно вертикальной нагрузки на столбы диафрагмы был произведено по дискретно-континуальной модели [3]. Расчет по найденным усилиям внецентренно-сжатых железобетонных элементов прямоугольного поперечного сечения определялся по методике [8]. Далее проводится статическая обработка результатов при количестве испытаний  $n = 500000$ . Определено число отказов и число благоприятных событий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе численных экспериментов при оценке влияния податливости на вероятность безотказной работы односвязной диафрагмы жесткости выяснилось, что снижение податливости связи приводит к снижению вероятности безотказной работы (Рис. 1). Получаем тривиальный результат. Чем больше жесткость связи сдвига, тем более надежна наша конструкция. Обращает на себе нелинейная зависимость безотказной работы от податливости перемычек. Все параметры дискретно-континуальной модели приняты в численном эксперименте линейными, а окончательный результат статистического испытания приводит к нелинейной зависимости. При чем при податливости равной  $0,063 \cdot 10^{-3}$  вероятность безотказной работы данной диафрагмы жесткости близка к 1. В несущей пространственной системе здания с большим количеством разнообразных по конструктивным решениям вертикальных связей и их жесткостям требуется для оценки вероятности безотказной работы учет всех без исключения вертикальных соединений.

При увеличении класса бетона – вероятность безотказной работы увеличивается (Рис.2). Класс бетона В40 не дает возможности обеспечить вероятность безотказной работы близкой к единице. Также наблюдается нелинейная зависимость вероятности безотказной работы диафрагмы жесткости от прочности бетона. В дальнейшем при проведении численных экспериментов следует рассмотреть прочность бетона соответствующей бетону В120-В160.

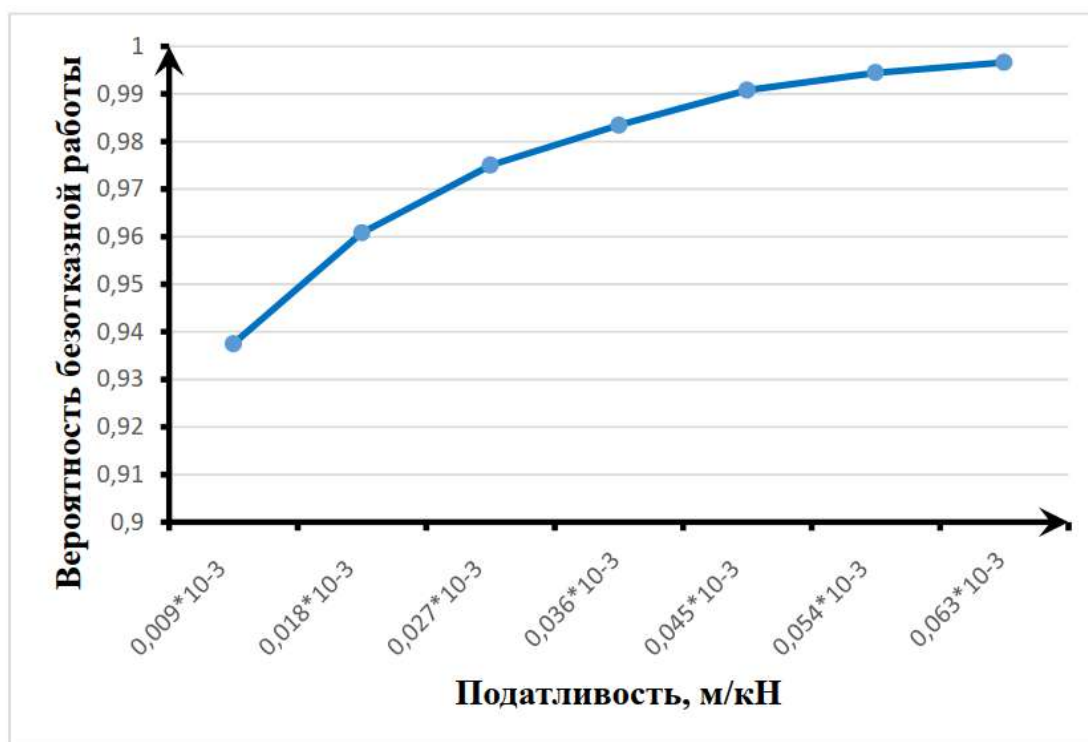


Рис.1. График зависимость «податливость – вероятность безотказной работы»



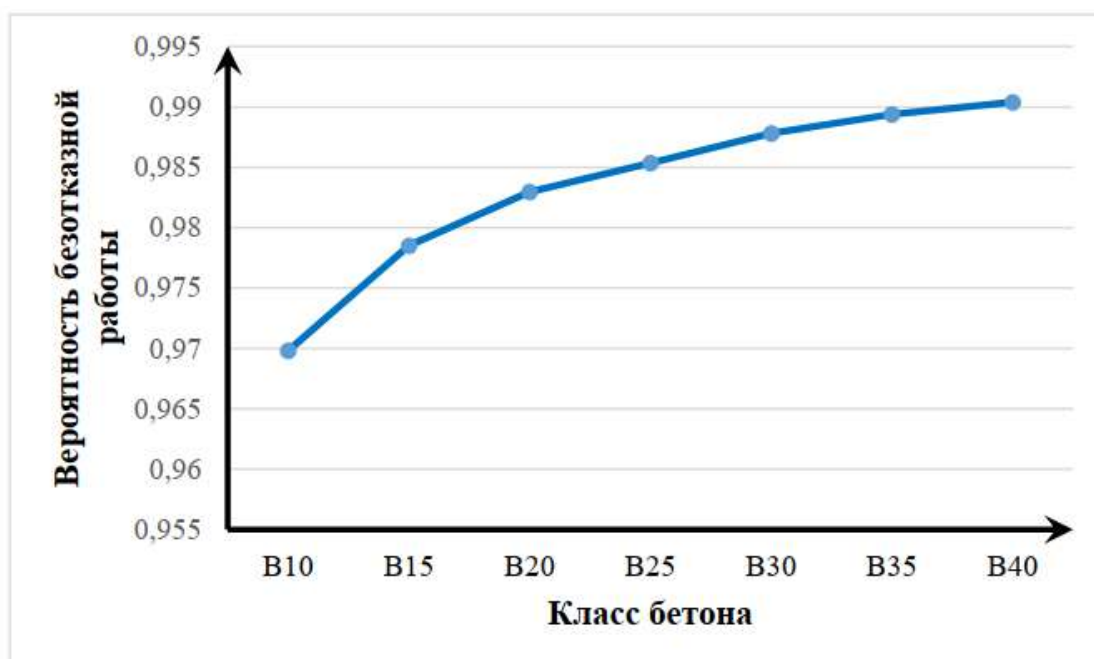


Рис.2. График зависимость «класс бетона – вероятность безотказной работы»



Рис.3. График зависимости «высота здания - вероятность безотказной работы»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных численных экспериментов можно отметить следующее:

- 1) Разработана программа на языке Python по определению вероятности безотказной работы железобетонной диафрагмы жесткости, проверен программный модуль для генерации случайных значений параметров случайных величин. Модуль позволяет проводить численный анализ в стохастической постановке в строительной отрасли по определению вероятности безотказной работы железобетонной диафрагмы жесткости при нормальном распределении рассмотренных случайных величин.

- 2) Показано практическое применение предлагаемого подхода: проведена серия численных экспериментов, которая показывает возможность определить отказ железобетонной конструкции и возможность определения вероятности безотказности работы диафрагмы жесткости.
- 3) Варьируя податливость связей сдвига, высоту здания и класс бетона вертикальных конструкций- были получены зависимости вероятности безотказной работы диафрагмы жесткости от этих параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
2. Khvostov A.I., Zhukov S.I. Evaluation of the reliability of building structures in simulia Abaqus: modeling of stochastic material properties, Volume 17, Issue 3, 2021 – 8 p.
3. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2007. – 256 с.
4. Аугусти Г., Баррата А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1998 - 584 p.
5. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. - М: Изд-во АСВ, 1998 - 302 с.
6. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах. — М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961 - 226 с.
7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. // Учебное пособие для вузов. Изд. 7-е, стер-М.: Высш. Шк., 2008 – 479 с.
8. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

# ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ КОРРОЗИОННОМ ПОВРЕЖДЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

**В. А. Гришков, А. В. Алексейцев**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## **Аннотация**

В работе рассматривается влияние коррозии бетона сжатой зоны на деформативность железобетонных (далее ж/б) балок. Целью работы является уточнение методики определения деформаций изгибаемых ж/б элементов, учет влияния коррозионного повреждения бетона на общую деформативность ж/б балок. Для вычисления интеграла Мора применяется метод Верещагина, используется модель коррозии, предложенная Бондаренко В.М. Получена методика нахождения прогиба с учетом изменения высоты сжатой зоны по длине сечения. Значительная разница в перемещениях при учете изменения изгибной жесткости по длине балки и без учета свидетельствуют о необходимости совершенствования методик определения перемещений для ж/б элементов, в том числе численной верификации на основе построения уточненных конечно-элементных моделей и экспериментальной верификации. Модель коррозионного повреждения бетона требует дальнейших исследований.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Взаимодействие ж/б конструкций с агрессивными средами химического и биологического характера приводит к появлению и развитию коррозионных процессов, то есть к деградации арматуры и цементного камня. Это значительно снижает несущую способность ж/б элементов и конструкций в целом. Эксплуатация таких зданий без дополнительных мероприятий по ремонту и защите конструкций опасна.

Влияние коррозии арматуры на деформативность и прочность изгибаемых ж/б элементов наиболее изучена, однако интерес представляет коррозия бетона.

В данной работе проведен сравнительный анализ влияния коррозии бетона сжатой зоны на деформативность ж/б балок при различных подходах к расчету:

- при постоянной изгибной жесткости:  $EI=const$ ;
- при разделении балки на равные сегменты и переменном моменте инерции сечения:  $E=const, I\neq const$ ;
- с учетом коррозионного повреждения бетона ж/б балки:  $E\neq const, I\neq const$ ;

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

Одной из проблем методики расчета ж/б конструкций по предельным состояниям является методика определения перемещений и связанные с ней ограничения, нормируемые эстетико-психологическими требованиями [1]. Для решения этой задачи может быть использована уточненная методика, описанная в данной работе.

Влияние коррозионного повреждения бетона сжатой зоны на общую деформативность балок, представленное в работах [1-3], также не описано в нормативной документации. В связи с этим представляется актуальным дальнейшее развитие методики определения деформаций и уточнение модели коррозионного повреждения. Представляется актуальным поиск рациональных решений для ЖБК с учетом коррозионных и других повреждений [4-6].

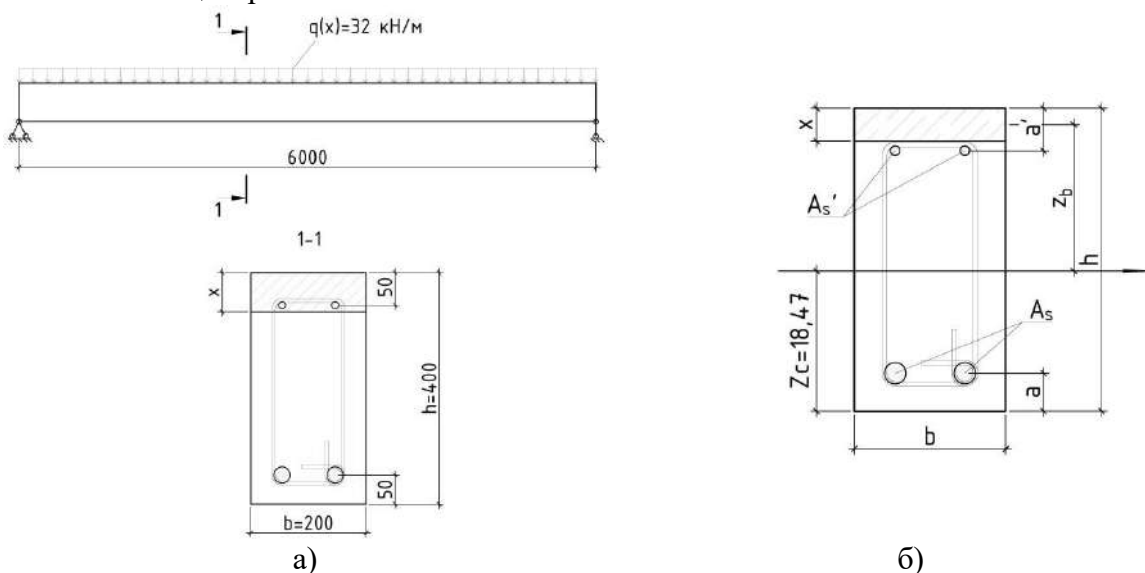
## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Рассмотрим балку, изображенную на рис. 1.

1. Прогибы ж/б конструкций определяют по общим правилам строительной механики, по формуле (1):

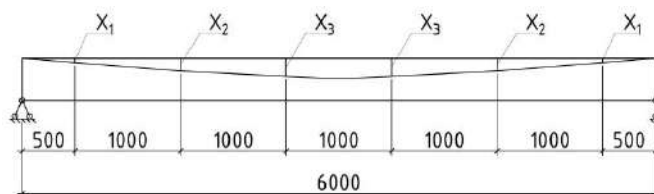
$$\Delta_c = f_{cp} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E_{b1} \cdot I} = 1.595 \text{ см} \quad (1)$$

где  $q$  – распределенная нагрузка;  $l$  – расчетный пролет балки;  $E_{b1} = 0,85 \cdot E_b$  – модуль деформации бетона при непродолжительной действии нагрузки;  $I$  – момент инерции сечения относительно центра тяжести.



**Рис. 1.** Геометрические характеристики рассчитываемой балки (а) и сечения (б)

2. Используя метод Мора-Верещагина, рассчитаем перемещение в середине пролета балки, учитывая изменение высоты сжатой зоны и момента инерции сжатой зоны приведенного сечения. На рис. 2 (а) показано изменение высоты сжатой зоны по длине балки.



**Рис. 2.** Изменение высоты сжатой зоны по длине балки (а) и геометрические характеристики сечения (б)

Формула Мора (2):

$$\Delta = \int_0^X \frac{M \cdot M_p}{E \cdot I} dx \quad (2)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим результаты расчета по уточненной методике. Для расчета будем использовать правило Верещагина. Найдем геометрические характеристики сечения (рис.1).

В работе рассматривается ж/б сечение 40x20 см с растянутой арматурой в виде 2-х стержней Ø32 и 2-х сжатых стержней Ø12 класса А500С с  $R_s = 435$  Мпа,  $R_{sc} = 400$  Мпа и бетона класса В25 с  $R_b = 14,5$  Мпа.

2.1 Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = A_b + \alpha \cdot A_S + \alpha \cdot A'_S - A_S - A'_S = A_b + (\alpha - 1) \cdot A_S + (\alpha - 1) \cdot A'_S \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент приведения арматуры к бетону, вычисляемый по формуле (4);

$$\alpha = \frac{E_S}{E'_S} \quad , \quad (4)$$

где  $A = b \cdot h$  - площадь бетона;

2.2 Центр тяжести сечения определяется по формуле (5):

$$z_c = \frac{\sum z_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0.5 \cdot h \cdot A_b + z_S \cdot (\alpha - 1) \cdot A_S + (h - z'_S) \cdot (\alpha - 1) \cdot A'_S}{A_{red}} \quad (5)$$

2.3 Момент инерции приведенного сечения с учетом изменения сжатой зоны  $x$  вычислим по формуле (6):

$$I_{red} = I_b + I_S + I'_S \quad , \quad (6)$$

$$I_b = \frac{b \cdot x^3}{12} + z_b^2 \cdot A_b \quad (7)$$

При этом моменты инерции растянутой (8) и сжатой (9) арматуры в сечении равны:

$$I_S = I_{S0} + z_S^2 \cdot A_S \cdot (\alpha - 1) \quad , \quad (8)$$

$$I'_S = I'_{S0} + z'^2_S \cdot A_S \cdot (\alpha - 1) \quad , \quad (9)$$

Бетон, с уровнем напряжения, превышающим  $R_{bt}$ , в составе сечения не учитывается. Получим значение площади приведенного сечения, показанного на рис. 3.:

$$\alpha = \frac{2 \cdot 10^5}{0.85 \cdot 20 \cdot 10^3} = 7.84 \quad ,$$

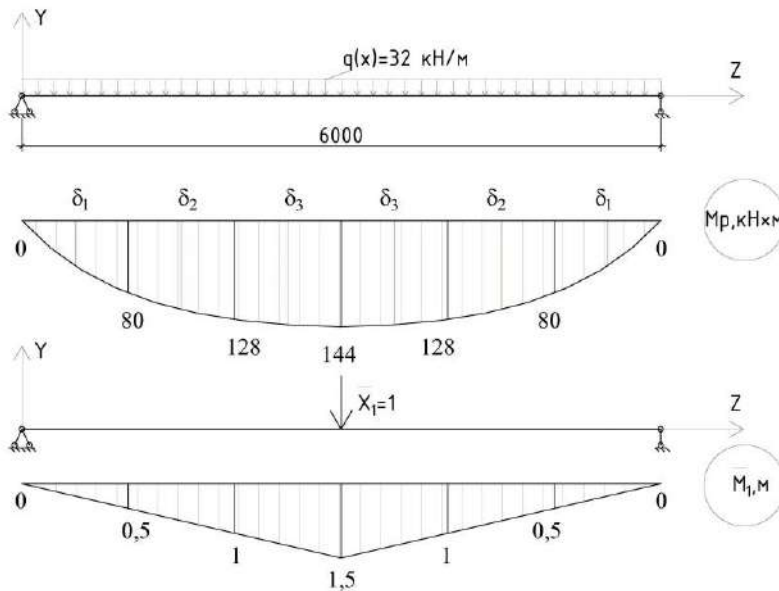
$$A_{red} = 20 \cdot 40 + (7.84 - 1) \cdot 16.09 + (7.84 - 1) \cdot 2.26 = 925.57 \text{ см}^2 \quad ,$$

$$z_c = \frac{0.5 \cdot 40 \cdot 800 + 5 \cdot (7.84 - 1) \cdot 16.09 + (40 - 5) \cdot (7.84 - 1) \cdot 2.26}{899.7} = 18.47 \text{ см}$$

Рассмотрим сечения ж/б балки, указанной на рис.1. Перемещение в середине пролета в таком случае – сумма перемещений в каждом сечении (10) показана на рис. 3:

$$\Delta_c = 2 \cdot (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \quad , \quad (10)$$





**Рис. 3.** Сегменты железобетонной балки

2.4 Сечение 1:

$$I_{red}^{(1)} = \frac{b \cdot x^3}{12} + z_b^2 \cdot A_b + z_s^2 \cdot A_s \cdot (\alpha - 1) + z_s'^2 \cdot A_s' \cdot (\alpha - 1) = 58636 \text{ см}^4,$$

$$\delta_1 = \frac{1}{E_{b1} \cdot I_{red}^{(1)}} \cdot \left[ 0.5 \cdot 1 \cdot 80 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.5 + \frac{32 \cdot 1^3}{12} \cdot 0.5 \cdot 0.5 \right] = 0.094 \text{ см}$$

Для остальных сечений расчет проводится аналогично:

$$I_{red}^{(2)} = 86745 \text{ см}^4, \delta_2 = 0.371 \text{ см}^4; I_{red}^{(3)} = 90639 \text{ см}^4, \delta_3 = 0.753 \text{ см}^4$$

Таким образом, перемещение в середине пролета равно:

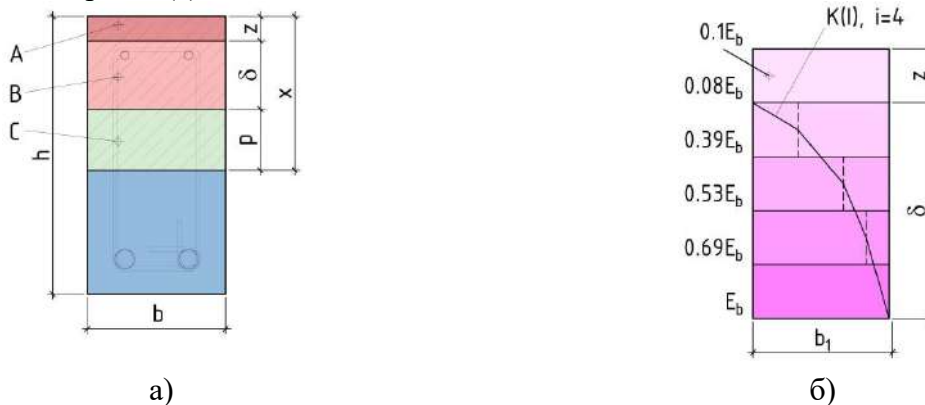
$$\Delta_c = 2 \cdot (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) = 2 \cdot (0.094 + 0.371 + 0.753) = 2.436 \text{ см};$$

Как видим, перемещения первого и второго подходов отличаются.

3. Учет снижение модуля упругости при коррозионном повреждении бетона сжатой зоны.

Для учета коррозионного повреждения бетона балки, используем модель напряженного состояния нормального поперечного сечения, описанную в работах [2], [3], [4].

Сжатую зону X разделим на 3 участка. В соответствии с основными положениями этих работ, моделирование коррозионных повреждений выполняется введением трех зон: А, Б и С, показанных на рис.4 (а):



**Рис. 4.** Модель коррозионно поврежденной сжатой зоны бетона (а) и изменение модуля упругости бетона в зоне В (б)

При расчетах модули упругости бетона участков определены следующим образом:

– зона А (повреждена коррозией):  $E_A=0,1 \cdot E_b$ ;

– зона В (частично повреждена коррозией): модуль упругости меняется от  $0,08 \cdot E_{b1}$  до  $E_{b1}$  в соответствии с функцией, изображенной на рис. 4 (б):

$$E_{b(z+i)} = E_{b(z)} + \Delta E_b \cdot K(i), \quad (11)$$

где  $K(i)$  – функция коррозии:

$$K(i) = 1 + \frac{z_{bi}}{\delta} + \frac{z_{Bi}^2}{\delta^2}; \quad (12)$$

– зона С (коррозионные повреждения отсутствуют):  $E_C = E_{b1}$ .

Выполним определение перемещений с учетом модели повреждений от коррозии.

3.1 Сечение 1:

$$I_{red}^{(1)} = \frac{b \cdot x^3}{12} + z_b^2 \cdot A_b + z_s^2 \cdot A_s \cdot (\alpha_1^{kop} - 1) + z_s'^2 \cdot A_s' \cdot (\alpha_1^{kop} - 1) = 85864 \text{ см}^4,$$

$$\delta_1^{kop} = \frac{1}{E_{b1} \cdot I_{red}^{(1)}} \cdot \left[ 0,5 \cdot 1 \cdot 80 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5 + \frac{32 \cdot 1^3}{12} \cdot 0,5 \cdot 0,5 \right] = 0,09 \text{ см.}$$

3.2 Сечения 2 и 3 рассчитаем аналогично:

$$I_{red}^{(2)} = 113347 \text{ см}^4, \delta_2^{kop} = 0,401 \text{ см}; I_{red}^{(3)} = 100766 \text{ см}^4, \delta_3^{kop} = 0,836 \text{ см.}$$

Заметим, что снижение модуля упругости бетона приводит к перераспределению усилий и, как следствие, увеличению сжатой зоны Х. При этом возрастает риск хрупкого разрушения коррозионно-поврежденной балки вследствие увеличения высоты сжатой зоны.

В соответствии с уравнением равновесия сечения:

$$M = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right),$$

при уменьшении рабочей высоты сечения, высота сжатой зоны Х увеличивается.

Таким образом:

– при коррозии одного из участков «2», прогиб в центре балке равен (рис. 5):

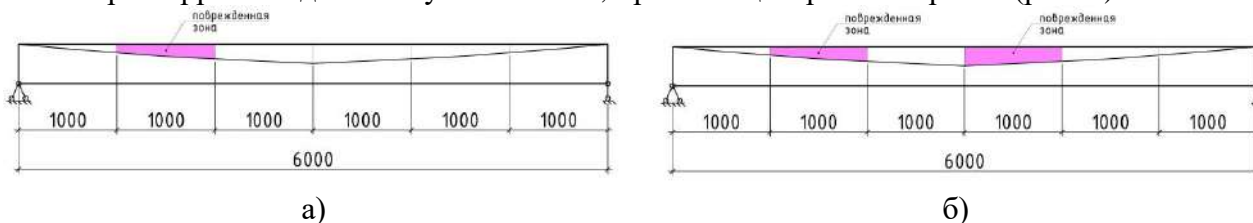


Рис. 5. Расчетный случай №1 (а) и №2 (б)

$$\Delta_c = 2 \cdot (\delta_1 + \delta_3) + \delta_2 + \delta_2^{kop} = 2 \cdot (0,094 + 0,753) + 0,371 + 0,401 = 2,465 \text{ см};$$

– при коррозии одного из участков «2» и участка «3», прогиб в центре балке равен (рис. 5):

$$\Delta_c = 2 \cdot \delta_1 + \delta_2 + \delta_2^{kop} + \delta_3 + \delta_3^{kop} = 2 \cdot 0,094 + 0,371 + 0,401 + 0,753 + 0,836 = 2,548 \text{ см};$$

Сравним полученные результаты в итоговой таблице №1.

Табл. 1. Сравнение результатов расчета

Вариант расчета	Описание	Перемещение, см
1	Постоянная изгибная жесткость: $EI = \text{const}$	1,595
2	С учетом изменения высоты сжатой зоны по длине балки	2,434
3	Расчетный случай №1	2,465
4	Расчетный случай №2	2,548

Итак, учет коррозии снижает жесткость сечения, что приводит к росту прогибов. Учет изменения высоты сжатой зоны (расчет №2) дает расхождение с расчетом по варианту №1 в 34,47%. А в сравнении с вариантом расчета при учете коррозии бетона (расчет №4), разница составит уже 37,4%.

## **ВЫВОД**

Наличие условий работы ж/б балок, предусматривающих коррозионные повреждения бетона, существенно влияет на ограничения по перемещениям, нормируемым эстетико-психологическими требованиями. При этом расчетное обоснование и моделирование повреждений от коррозии требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бондаренко В.М., Попов Д.С. Специфика силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций и новые факторы разрушения. – г.Москва, 2012. – 263 с.
2. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №2. С. 19-26. DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.19-26.
3. Смоляго Г.А., Дронов А.В., Фролов Н.В. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 1(70). С. 43–49.
4. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
5. Алексейцев А.В., Антонов М.Д. Динамика безбалочных железобетонных каркасов сооружений при повреждениях плит продавливанием // Строительство и реконструкция. 2021. № 4 (96). С. 23-34.
6. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

# Секция 4. Инженерные и интеллектуальные системы в строительстве

## ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА ОБРАЩЕНИЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

М. К. Зуева, А. В. Алексанин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

### Аннотация

**Предметом исследования** являются перспективные направления исследований по повышению эффективности функционирования системы обращения строительных отходов.

**Цель исследования:** изучение актуальной литературы по управлению строительными отходами, а также опыта внедрения информационных технологий в систему контроля за обращением строительных отходов в России и за рубежом.

**Материалы и методы:** поисковый, аналитический.

**Результаты:** приведена статистика образования отходов строительства и сноса, выполнен анализ возможностей использования информационных технологий в сфере обращения строительных отходов, выявлены примеры успешного внедрения информационных систем контроля в России, США и европейских странах,

**Выводы:** внедрение информационных технологий в систему контроля за обращением строительных отходов позволит улучшить состояние окружающей природной среды, а также получить положительный экономический эффект за счет сокращения расходов на строительство путем использования вторичных строительных материалов.

### ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование строительных материалов, оптимизация и развитие технологических процессов строительного производства требуют развития перспективных направлений исследований по повышению эффективности обращения со строительными отходами, что обеспечит экономические и экологические выгоды. Несмотря на попытки регулирования образования и минимизации строительных отходов, строительство по-прежнему является одним из наиболее загрязняющих промышленно развитых производств. Развитие современных информационных технологий позволит улучшить систему контроля за строительством объекта в целом, а также обеспечить пристальный контроль за образованием и перемещением строительных отходов.

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Информатизация многих производственных процессов, связанных с минимизацией образования отходов, является на сегодняшний день одним из самых актуальных направлений исследований. Авторами в публикациях рассматриваются вопросы, посвященные ресурсосбережению, использованию вторичных строительных материальных ресурсов, информатизации систем учета образования и управления строительными отходами [1-4]. Цифровому контролю за процессом обращения отходов строительства и сноса посвящены работы [5-8].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Информационные технологии являются мощным инструментом для достижения экологических целей и содействия устойчивому развитию. Информационные системы используются как некоммерческими организациями, так и правительством для информирования общественности об экологических проблемах и состоянии окружающей среды в регионах страны. Также цифровизация широко внедряется в строительную отрасль, цифровые информационные модели позволяют отследить не только визуальный процесс возведения здания, но и полный жизненный цикл его существования – от этапа проектирования до демонтажа и утилизации. В связи с тем, что в последнее время актуальным является вопрос сохранения окружающей среды, необходимо рассмотреть более подробно возможности внедрения цифровых технологий в сферу контроля за обращением строительных отходов.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Ответственное управление отходами является важным аспектом устойчивого строительства. В этом контексте управление отходами означает, по возможности, обеспечение отсутствия отходов; минимизацию отходов, где это возможно; или повторное использование материалов. Практика обращения с твердыми отходами показала, что сокращение, переработка и повторное использование отходов имеют важное значение для устойчивого управления ресурсами. Существует множество возможностей для полезного сокращения и утилизации материалов, которые в противном случае предназначались бы для утилизации в качестве отходов. Правительство Москвы и Московской области, в связи с образованием более 50 млн кубометров строительных отходов, остатков мусора после сноса и грунтов, с 1 июня 2021 года плотно занимается этой проблемой, внедряя автоматизированный контроль, позволяющий снизить количество свалок уже на 61%. Однако по данным Росприроднадзора на 2020 год, свалки в России занимают площадь в 4 млн гектаров.

В Подмосковье уже работают современные специализированные комплексы по утилизации строительных отходов, помогающие решить задачи по цифровому контролю доставки строительных отходов от места загрузки до выгрузки, оценки наполненности комплекса переработки и пресечения нелегальных свалок отходов. Массово системы контроля на стройках Москвы появились 1 января 2022 года. Эти меры необходимы для уменьшения количества отходов, что приведет к более рациональному и экологичному строительству, к возможности строительства из переработанных материалов, к улучшению воздушного бассейна города. К тому же предприятия могут повышать свою ценность за счет возврата отходов обратно в производственные процессы, продвижения и поиска возможностей для включения переработанных материалов в новую продукцию, а также направления приоритетного внимания на сокращение отходов, связанных со строительством, за счет эффективной практики на рабочих местах.

Новым проектом в сфере информационного контроля за строительными отходами является проект Ханты-Мансийского автономного округа. Информационная система "Обращение с отходами строительства, сноса и грунтов" - часть большого проекта "Цифровая экология". Проект стал финалистом форума "Сильные идеи для нового времени", организованного АСИ и Фондом Росконгресс в ноябре 2020 года и вошел в топ-100 экспертного рейтинга. Разработанный электронный сервис позволяет собирать данные об объекте строительства или ремонта, обо всех отходообразователях и контроле за отходами строительства. На их основе система строит модели развития отрасли обращения с ними и оптимальные маршруты перемещения этих отходов.

В России ценность переработанных ресурсов еще не достаточно признана и популярна, и практикуется только в больших городах, где для этого существуют финансовые и экономические ресурсы. Так, например, в Москве действует площадка для агрегации в электронном виде всей информации в области обращения с отходами строительного



производства, учитывающая их перемещение, переработку или захоронение. Благодаря ей рынок вторичных материалов начинает постепенно развиваться, что является существенным плюсом в достижении цели по уменьшению несанкционированных свалок. Отслеживание транспортировки и передачи строительных отходов осуществляется с помощью приложения, что помогает правительству дополнительно отслеживать добросовестность подрядчика за счет четко установленного срока транспортировки и передачи мусора. Данные телеметрии помогают выявить наличие груза в кузове транспорта, отслеживают его маршрут, время в пути и массу груза, фиксируются так же фото до и после въезда на пункт переработки. Существуют также меры наказания при нарушениях поставки отходов. Технология, безусловно, не стоит на месте, получает новый функционал и возможности, увеличивая точность данных. [1-4]

В Москве принимаются во внимание не только новые строительные площадки, но и те, где завершается жизненный цикл здания, в частности площадки реновации зданий. Технология «умный снос» заключается в поэтапном «очищении» здания: выносе коммуникаций; уборки мебели, обоев, дверных и оконных проемов, сантехники; их сортировка по контейнерам для дальнейшей вторичной переработки. Каркас дома так же разделяют на части: металл отправляют на переплавку; стекло, утеплитель и керамику – на производство наполнителя для стеновых плит; бетонные конструкции также реализуют в качестве бетона для дальнейшего использования. Все эти меры помогают избежать около 30 тонн мусора на свалках или же огромного выброса углекислого газа при их утилизации. Ликвидация отходов может быть полезной для снижения воздействия на здоровье человека и окружающую среду. [5-6]

#### Наиболее частые материалы, получаемые после переработки бетона



**Рис. 1.** Наиболее частые материалы, получаемые после переработки бетона.

Схожие методы контроля разработаны в Китае: применение технологии Internet of Things (IoT) дает возможность улучшить эффективность управления логистикой. Предложенная схема на основе данной технологии повышает безопасность водителя, экономит эксплуатационных расходов и снижает воздействие на окружающую среду. В своем подходе центры удаленного мониторинга получают данные датчиков в реальном времени от транспортных средств, фиксируя такие данные, как скорость, местоположение, торможение и данные двигателя, чтобы отправлять предупреждения водителям о возможных предстоящих опасностях, в то время как технологии на основе камер используются для улучшения управления усталостью и сбора доказательств важных событий при вождении. Разработанная система управления транспортными средствами интегрирована с технологиями IoT: радиочастотная идентификация (RFID), географическая информационная система (ГИС) и глобальная система позиционирования (GPS), что

облегчает планирование оптимальных маршрутов транспортных средств с использованием информации в реальном времени в логистических или распределительных службах.

В Соединенных Штатах Америки закон о сохранении и восстановлении ресурсов определяет подмножество твердых отходов, известных как опасные отходы, представляющие опасность для здоровья человека и окружающей среды при неправильном обращении. Из-за того, что некоторые компоненты, встречающиеся при производстве строительных и демонтажных материалов, являются опасными отходами процессы должны соответствовать всем нормативным требованиям по обращению с ними. Например, направленные на свалку краски и растворители обладают характеристиками воспламеняемости; батареи обладают характеристиками коррозионной стойкости. Перенаправленные материалы сортируются для последующей переработки, а в некоторых случаях используются повторно.

Ярким примером использования информационных технологий в США стала система DigiBuild. Эта платформа управления строительными проектами с поддержкой блокчейна, она позволяет полностью управлять всем процессом строительства – закупками, бюджетом, графиками, контрактами, платежами, утилизацией строительных отходов. Благодаря ей устраняются риски, споры, экономится время и создается более здоровая строительная индустрия. [7-8]

По данным статистики ежегодно в Европе образуется около 450-500 миллионов тонн отходов строительства и сноса, и по меньшей мере треть из них составляют бетонные отходы. Тем не менее, только от трети до двух третей произведенных конструкций перерабатывается. Повышается также процент использования переработанных строительных материалов в новом жилье, увеличивается техническая и экономическая ценность материалов, разрабатываются стандарты вторичного сырья. Широко действует программа по измерению показателей энергоэффективности здания, которая приводит к сокращению выбросов парниковых газов, возможности уменьшения затрат на отопление, а также сокращению ресурсов, необходимых на постройку здания. Продумывание жизненного цикла проекта заранее позволяет уменьшить затраты на постройку, сократить количество строительного мусора, сделать проект более экологичным.[8]

Можно рассмотреть в качестве примера страну, переработка отходов в которой началась уже в XIX веке с принятия законов об утилизации отходов, - Германию. Ежегодно в Германии образуется от 325 до 350 миллионов тонн (нетто) отходов, при этом на отходы строительства и сноса (включая дорожное строительство) приходится 60 процентов этих отходов. В целом в Германии уровень переработки отходов строительства и сноса составляет 89,8%, в том числе благодаря развитию переработанных заполнителей. Благодаря новым веяниям в области исследования загрязнения почв, подземных и надземных вод, в скором времени возможно то, что все известные пути утилизации в гражданском строительстве не будут использоваться в полной мере, в противном случае количество отходов строительства и сноса на свалках вновь увеличится.

Альтернативой может быть новый вариант переработки с замкнутым циклом в гражданском строительстве, при котором для производства бетона используются переработанные заполнители из строительных отходов и отходов сноса. Этот вариант был разработан компанией Deisl и задуман, в частности, в рамках национального исследовательского ВІМ-проекта по переработке минеральных строительных материалов, который финансировался Федеральным министерством образования и научных исследований Германии. В рамках этого ВІМ-проекта была изучена и продемонстрирована на практике техническая возможность использования переработанных заполнителей для производства бетона в строительной инженерии. Особое внимание было уделено тому факту, что как технические, так и экологические свойства бетона как с переработанными заполнителями, так и без них оставались неизменными в предусмотренных областях применения. Полученные результаты привели к разработке новых стандартов и правил, в

соответствии с которыми переработанные заполнители могут использоваться для производства бетона в строительном секторе (DIN 4226-100, DIN 1045-2). [2-3,8]

Еще одним вариантом информационного контроля за строительными отходами является использование дронов на строительной площадке. Беспилотники раскрыли свой потенциал в индустрии управления отходами и оказались самым экономичным, практичным, эффективным и точным оборудованием. Потратив время на совершенствование полетов дронов, можно запустить программу дронов на свалке, чтобы предоставить точные данные о ее продвижении и производительности в режиме реального времени, возможно также перевод данных для создания 3D модели с целью тщательного контроля за утилизацией или переработкой строительных отходов. Например, после обработки ваших данных с помощью правильного программного обеспечения визуализации вам может быть представлена цифровая модель местности (DTM), которая позволяет видеть различные высоты, контурные линии, линии разрыва и т. Д. Одним из таких облачных приложений и программного обеспечения для фотограмметрии является Pixa 4D. Он отлично используется для создания карт и 3D - моделей. В современной строительной отрасли беспилотные летательные аппараты с несколькими роторами как инновационная технология обладают потенциалом для облегчения строительных работ от наблюдения и инспекции до мониторинга безопасных методов, что приводит к экономии времени, сокращению затрат и травм наряду с качественной работой

## **ВЫВОД**

Утилизация строительных отходов обходится дорого и часто приводит к непредвиденным последствиям. Разумеется, что эффективное устранение и минимизация отходов, а также их повторное использование помогут не только улучшить экологию, но и значительно сократить расходы на строительство в случае изначального представления всего жизненного цикла здания и расчета его энергоэффективности. Государство и частные предприятия могут взять на себя ответственность за упорядоченное, разумное и эффективное удаление отходов, связанных со строительством, повышение осведомленности населения и промышленности о проблемах утилизации и обеспечения стабильной благоприятной для бизнеса среды для сбора, переработки и повторного использования отходов.

Переработка строительных отходов приносит пользу окружающей среде, сокращая добычу нетронутых ресурсов, возвращая использованные материалы в строительную промышленность. За счет повторного использования строительных материалов нагрузка на свалки уменьшается, и становится возможным долгосрочное оздоровление окружающей среды.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексанин А.В. Влияние информационных технологий на возможности ресурсосбережения в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 2 (74). С. 11-19.
2. Aleksanin A. Modern methods of increasing the level of resource saving in construction // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 23, Construction - The Formation of Living Environment. Сер. "XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "Construction - The Formation of Living Environment", FORM 2020 - Management in Construction" 2020. С. 062028.
3. Aleksanin A. Secondary building materials planning system // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. XXVIII R-P-S Seminar 2019. 2019. С. 012103.
4. Aleksanin A. Potential for the use of information systems in the management of construction waste // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 04081.
5. Цифровые решения в сфере обращения со строительными отходами дают хорошие результаты // Режим доступа : <https://mep.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ministerstva/17-09-2021-12-39-40-tsifrovye-resheniya-v-sfere-obrashcheniya-so-stroi>. Дата обращения: 06.02.2022.
6. Цифровой контроль за процессом обращения отходов строительства и сноса// Режим доступа: <https://stroi.mos.ru/oss>. Дата обращения: 07.02.2022.

7. Johnny Bolden, Taher Abu-Lebdeh and Ellie Fini. UTILIZATION OF RECYCLED AND WASTE MATERIALS IN VARIOUS CONSTRUCTION APPLICATIONS // Режим доступа: <https://thescipub.com/pdf/ajessp.2013.14.24.pdf>. Дата обращения: 10.02.2022.
8. Обзор структуры иерархии отходов для анализа цикличности в управлении отходами строительства и сноса в Европе// Режим доступа: [https://www-sciencedirect-com.translate.googleusercontent.com/science/article/pii/S0048969721049676?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-sciencedirect-com.translate.googleusercontent.com/science/article/pii/S0048969721049676?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc). Дата обращения: 10.02.2022

# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СЦЕНАРИЯМИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

**Е. М. Железнов, П. Ю. Воробьев**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

## **Аннотация**

В современных геодезических изысканиях и эксплуатации объектов транспортного строительства все чаще используются методы сбора данных с использованием беспилотных летательных аппаратов. Одним из самых доступных и популярных методов сбора пространственных данных является метод аэрофотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой снимков. В данной статье представлено сравнение традиционной методики осуществления аэрофотосъемки линейных объектов для последующего получения данных о геометрии рельефа и объектов инфраструктуры, а также альтернативной методики, позволяющей обеспечить аэрофотосъемку большей площади объекта при том же полетном времени беспилотного летательного аппарата. Показано, что использование альтернативной методики приводит к ухудшению как количественных, так и качественных результатов изысканий, в связи с чем авторами исследования дана рекомендация осуществлять использование альтернативной методики только для случаев сбора визуальной информации и создания первичной модели местности для качественного анализа.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Согласно распоряжению правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года N 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» утверждена «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» [1]. В данной стратегии в том числе указывается на необходимость реализации мероприятий по модернизации железнодорожной инфраструктуры России, начала работ по строительству новых железнодорожных путей, а в отношении цифровизации - создания электронных навигационных карт железнодорожного транспорта.

Реализация данных целей потребует проведения большого объема изыскательских работ для осуществления сбора информации для строительства новых и сбора информации о существующих объектах инфраструктуры транспорта.

В связи с этим особо актуальным представляется разработка методик осуществления изыскательских работ. При этом одним из самых популярных методов сбора пространственной информации протяженных и площадных объектов в последние годы становится осуществление аэрофотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой полученных снимков [2,3].

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

Многие исследователи отмечают актуальность разработки и апробации методик осуществления полевых работ при сборе информации с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для последующей фотограмметрической обработки снимков [2,3,4].

При этом при разработке сценариев съемки учитываются влияющие факторы: геометрия исследуемого объекта, используемые инструменты и их характерные особенности, требования к результатам, физические и законодательные ограничения, условия внешней среды и пр. [5,6]



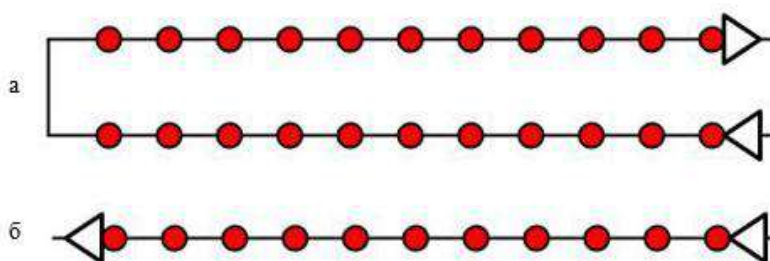
Для линейных объектов (дороги, железнодорожные пути, трубопроводы и пр.) одной из самых распространенных методик съемки с использованием БПЛА является использование беспилотного летательного аппарата со встроенным GNSS-приемником (глобальная навигационная спутниковая система). Такой аппарат помимо GNSS-приемника и систем, обеспечивающих его перемещение в пространстве, оснащен фотокамерой, а также блоком инерциальной навигационной системы. Данный БПЛА осуществляет перемещение по заданной траектории полета и выполняет фотосъемку с заданным интервалом для обеспечения достаточного перекрытия снимков (площадь двух снимков с изображением одного объекта с разных ракурсов, обеспечивающая успешное выравнивание снимков относительно друг друга фотограмметрическими алгоритмами). Использование GNSS-приемника позволяет определить положение БПЛА в пространстве в момент срабатывания затвора камеры с точностью до первых сантиметров, что в значительной степени увеличивает общую точность и корректность восстанавливаемой модели местности [7,8].

При этом, если качество снимков, точность работы GNSS-приемника и навигационной системы БПЛА во многом не зависят от оператора и диктуются внешними факторами, то разработка сценариев съемки (полетного задания) напрямую зависят от специалиста, осуществляющего изыскания, а также сильно влияют на качество итогового результата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

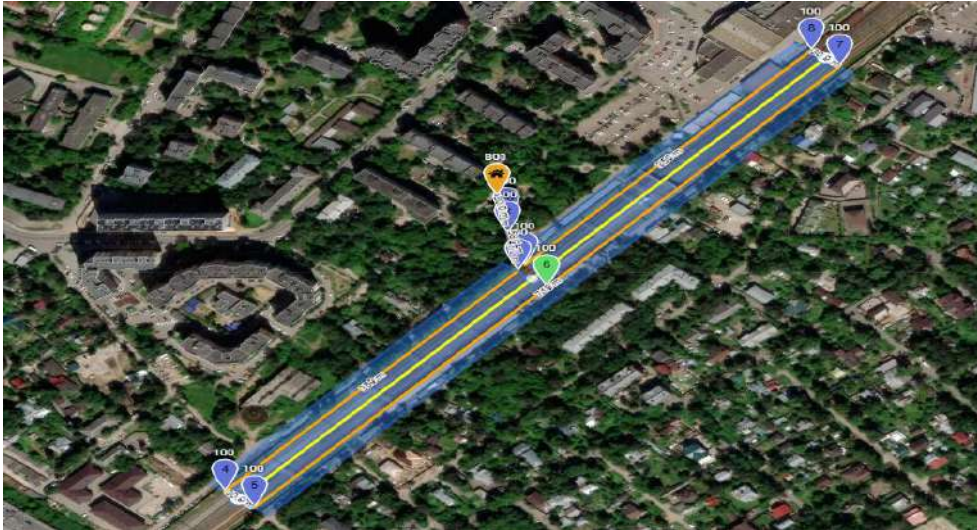
Для сравнения были выбраны две методики осуществления аэрофотосъемки протяженных объектов:

1. Традиционная методика, рекомендуемая большинством производителей оборудования для аэрофотосъемки [9,10], а также специалистами, вовлеченными в процесс изысканий. Данная методика подразумевает полет БПЛА в 2 галса (две параллельные кривые, соосные исследуемому протяженному объекту, вдоль которых пролетает БПЛА) и съемку в надир (строго перпендикулярно к поверхности земли без учета особенностей рельефа) с обеспечением не менее 85% фронтального и не менее 60% бокового перекрытия (85% площади снимка совпадают для соседних снимков в одном галсе и 60% площади снимка совпадают для соседних снимков в соседних галсах) (рис. 1, а).
2. Альтернативная методика, которая подразумевает полет БПЛА в 1 галс (в одну сторону вдоль объекта исследования) и съемку в надир с обеспечением не менее 85% фронтального перекрытия (рис. 1, б).



**Рис. 1.** а – схема съемки в 2 галса;  
б – схема съемки в 1 галс.

В качестве объекта съемки был выбран участок железнодорожного пути протяженностью 750 м (рис. 2).



**Рис. 2.** Спутниковый снимок объекта съемки со схематичным отображением галсов и площади покрытия снимков.

Для съемки был использован БПЛА DJI Mavic 2 Pro с установленным GNSS-приемником и возможностью осуществления фотосъемки с разрешением 20 МПикс. Съемка осуществлялась двумя способами:

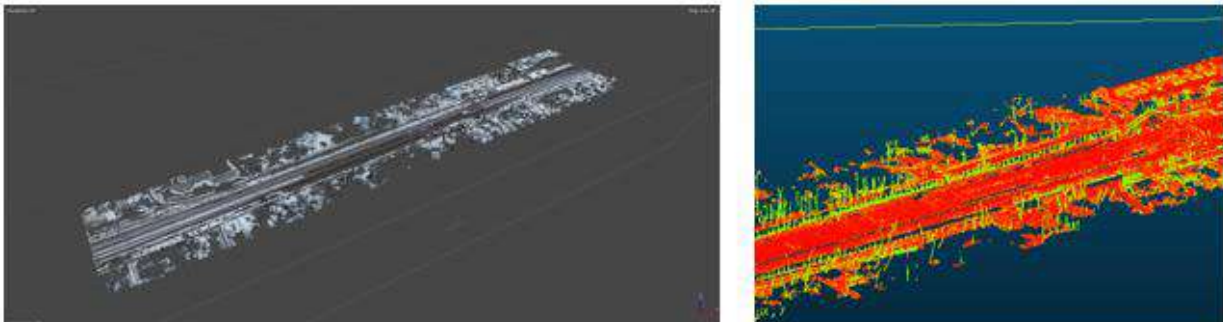
1. Традиционная методика со следующими параметрами: высота полета 100 м, фронтальное перекрытие снимков 85%, боковое перекрытие снимков 75%, угол наклона камеры  $-90^\circ$  (в надир);
2. Альтернативная методика со следующими параметрами: высота полета 125 м (для обеспечения такого же покрытия по площади поверхности земли, как и для традиционной методики), фронтальное перекрытие снимков 85%, угол наклона камеры  $-90^\circ$  (в надир)

Для первого случая полетное время составило 5 минут, были получены 83 изображения. Для второго случая полетное время составило 3 минуты, были получены 36 изображений.

Сопоставление снимков и их координат, записанных GNSS-приемником, выполнялось с использованием ПО TeoBox 3. Фотограмметрическая обработка снимков и получение облаков точек осуществлялось с использованием ПО Agisoft Metashape.

Для обоих случаев были выбраны идентичные параметры обработки, чтобы исключить их влияние на итоговый результат.

Результатами работы в Agisoft Metashape в обоих случаях стали облака точек исследуемого объекта (рис. 3):



**Рис. 3.** Окно программного комплекса Agisoft Metashape с изображением восстановленного по снимкам облака точек объекта

В качестве критерия сравнения результатов были выбраны ошибки определения местоположения визуальноопределимых характерных точек на облаке точек (расположенных близко к границам и в середине модели), полученном из снимков при альтернативной методике съемки, в сравнении с их положением на облаке точек, полученном из снимков при традиционной методике съемки. Схема их расположения и их место на снимках представлены ниже (рис. 4)



**Рис. 4.** Схема выбора характерных точек и их графическое отображение на снимках

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате исследования были получены следующие значения ошибок для выбранных точек (Таблица 1), где точка 1 – характерная точка в центре модели, точка 2 – характерная точка в южной части модели (внизу слева на рис. 4), точка 3 – характерная точка в северной части модели (сверху справа на рис. 4):

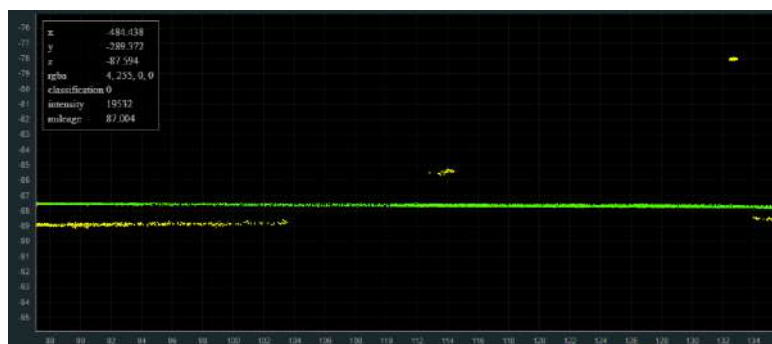
**Табл. 1.** Ошибки определения положения характерных точек для двух моделей

Название	Общая ошибка по 3 осям, м	Ошибка по оси X, м	Ошибка по оси Y, м	Ошибка по оси Z, м
Точка 1	1,45504	0,410156	0,597071	1,261911
Точка 2	1,119625	-0,33887	-0,3982	-0,99003
Точка 3	0,537425	-0,36472	-0,19658	-0,34229
Среднее (для абсолютных значений ошибок)	1,037363	0,371247	0,397285	0,864743

Как видно, среднее значение ошибки составило 0,87 м, что показывает некорректность восстановленной модели при использовании альтернативной методики съемки.

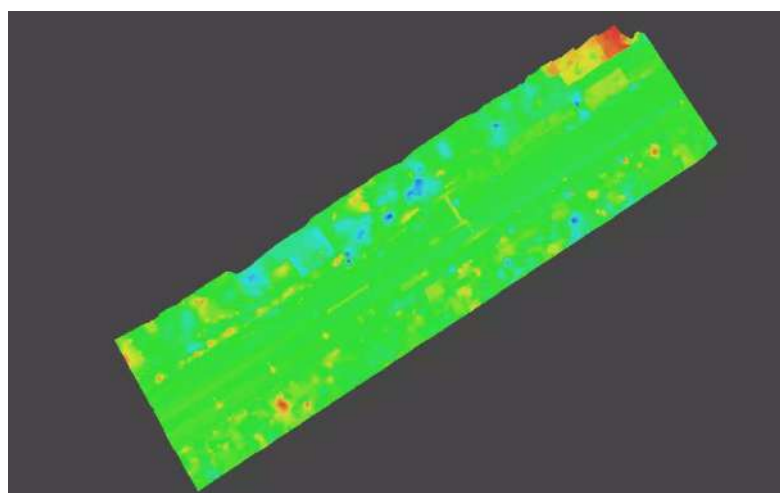
Одновременно с этим сильно заметны качественные отличия моделей, а именно общее искажение геометрии поверхности при использовании альтернативной методики съемки (рис. 5):





**Рис. 5.** Срез двух облаков точек (зеленое – при традиционной методике съемки, желтое – при альтернативной) с использованием библиотеки Potree, где заметны качественные отличия модели – искажение геометрии и пробелы в информации для второго облака.

Вместе с тем общий характер геометрического искажения имеет не локальный характер, а распространяется на всю область исследования объекта и выражен в систематической ошибке координат по оси Z (ось высот), что отчетливо видно в карте разности высот двух моделей (рис. 6):



**Рис. 6.** Карта разности высот для двух моделей, отражающая систематическую ошибку по координате Z.

## ВЫВОДЫ

Согласно результатам исследования, использование альтернативной методики съемки в один галс приводит к общему искажению геометрии восстанавливаемой модели поверхности. Таким образом, авторами показано, что в случае необходимости проведения измерений по получаемой фотограмметрической модели, не следует использовать методику съемки в один галс, так как результаты обработки данных, полученные с ее использованием, будут иметь большие качественные и количественные отличия от применяемых традиционных методик

В то же время использование альтернативной методики съемки в один галс способно существенно сэкономить время полета при том, что остается возможность первичного визуального анализа по полученным данным, в связи с чем авторы исследования рекомендуют осуществлять использование альтернативной методики только для случаев сбора визуальной информации и создания первичной модели местности для качественного анализа.

Исследование проведено в рамках выполнения НИР по теме «Разработка технологии контроля этапов строительства железнодорожной инфраструктуры с использованием

беспилотных летательных аппаратов» при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы "УМНИК" (договор (соглашение) № 17117ГУ/2021).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года N 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» // Сайт правительства РФ. Режим доступа: <http://government.ru/docs/43948/>. Дата обращения: 20.03.22.
2. Jiaheng Wang, Liguan Wang, Mingtao Jia, Zhengxiang He, Lin Bi. Construction and optimization method of the open-pit mine DEM based on the oblique photogrammetry generated DSM // Measurement. 2020. Volume 152.
3. N.Kiriiak. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods // Nuclear Engineering and Design. 2021. Volume 381.
4. E.P. Baltsavias. A comparison between photogrammetry and laser scanning // Photogramm. Remote Sens. 1999. Volume 54, pp. 83-94
5. P. Arias, J. Herráez, H. Lorenzo, C. Ordóñez. Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods // Comput. Struct. 2005. Volume 83. Pp. 1754-1766
6. T. Rakha, A. Gorodetsky. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones // Autom. Constr. 2018. Volume 93. Pp. 252-264
7. Jian Li, Gongliu Yang, Qingzhong Cai, Haofei Niu, Jing Li. Cooperative navigation for UAVs in GNSS-denied area based on optimized belief propagation // Measurement. 2022. Volume 192.
8. Nasser Gyagenda, Jasper V.Hatilima, Hubert Roth, Vadim Zhmud. A review of GNSS-independent UAV navigation techniques // Robotics and Autonomous Systems. 2022. Volume 152.
9. Ресурс TeoWIKI // Режим доступа: <https://wiki.teofly.com/>. Дата обращения: 20.03.22.
10. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6 // Agisoft LLC. 2020. Режим доступа: [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_6\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf). Дата обращения: 20.03.22.



# РЕАГЕНТНАЯ ПРЕДОБРАБОТКА МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ С ОСВЕТИТЕЛЕМ СО ВЗВЕШЕННЫМ ОСАДКОМ

У. С. Канивец, Ж. М. Говорова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** природные воды Северо-Западного региона РФ, которые характеризуются высоким уровнем органического загрязнения, низкими показателями мутности, нестабильностью качественного состава, изменение которого обуславливаются сезонными колебаниями, а также присутствием нагрузок антропогенного и техногенного характера.

**Цели:** исследование и подбор оптимальных доз реагентной предобработки воды, позволяющих обеспечить стабильную работу станции действующих очистных сооружений г. Вологды, анализ эффективности работы в зависимости от принятого режима и доз обработки.

**Материалы и методы:** с целью проведения экспериментального этапа исследования был разработан стенд, моделирующий этапы очистки природных вод, в состав которого входили блок реагентной обработки, насосы-дозаторы, механический смеситель, модели осветлителя со слоем взвешенного осадка (ОВО) и фильтра, технологические трубопроводы, контрольно-измерительная и запорно-регулирующая арматура.

**Результаты:** осуществлен подбор оптимальных доз реагентов, а также проведен анализ эффективности обесцвечивания и осветления природной воды в зависимости от различных режимов реагентной обработки.

**Выводы:** полученные данные по технологическим параметрам процессов реагентной обработки воды могут быть использованы для реализации комплексного подхода к решению вопроса очистки маломутных цветных вод, повышения надежности работы очистных сооружений и обеспечения нормативного качества питьевой воды.

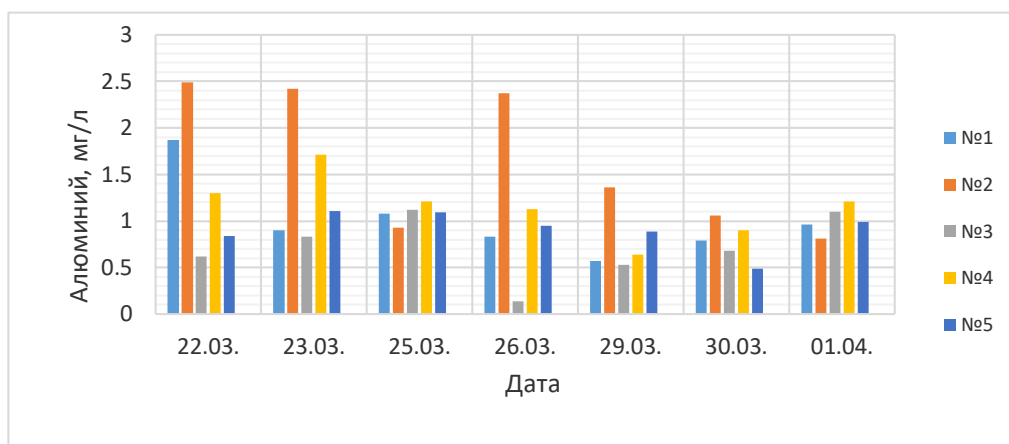
## ВВЕДЕНИЕ

Одним из условий, необходимым для стабильной работы технологии очистки природной воды, в состав которого входит ОВО, является наличие сформированного взвешенного слоя, который весьма чувствителен к внешним колебаниям качества исходной воды [1], поэтому рациональная область применения осветлителей – очистка природных вод средней мутности и мутных с температурой воды не ниже 10 °С и щелочностью более 3 мг-экв/л [2-6].

Наиболее сложными с точки зрения очистки воды до требуемых нормативов являются маломутные воды, которые содержат агрегативно устойчивую коллоидную взвесь и высокомолекулярные гумусовые вещества. Последние представляют собой гуминовые и фульвокислоты, которые вымываются из окружающих почв, поступают из торфяных болот или образуются в водоисточнике при развитии растительности и обуславливают цветность воды [7].

На примере эксплуатации очистных сооружений с ОВО г. Вологды, работающих при нехарактерных для их применения показателях качества природной воды, показано, что это приводит к неустойчивой работе, неудовлетворительной коагуляции, высокому содержанию остаточного алюминия в осветленной воде и увеличению нагрузки на фильтры и снижению их барьерной роли, наиболее неблагоприятными при этом являются периоды осенних дождей (октябрь-ноябрь) и весеннего снеготаяния (март-апрель). В результате реагентной обработки образуется рыхлая малоцентрированная фаза, процесс коагуляции протекает вяло, что негативно сказывается на работе очистных сооружений и затрудняет подготовку

питьевой воды требуемого качества. Основная нагрузка по концентрации взвешенных веществ приходится на сооружения скорых фильтров, в результате чего снижается их барьерная функция и в очищенной питьевой воде наблюдаются остаточное содержание побочных продуктов водоподготовки. На рис.1 представлено содержание остаточного алюминия в воде на промышленных ОВО.



**Рис. 1.** Содержание остаточного алюминия в питьевой воде

Одним из перспективных способов интенсификации работы очистных сооружений является оптимизация реагентной обработки воды, а именно усовершенствование водоочистной технологии путем пре- и постаммонизации для предотвращения образования побочных токсичных продуктов хлорирования и установления оптимального режима коагулирования. Исследование предложенной технологии на речной воде в условиях максимально приближенных к производственным является актуальной задачей, решение которой позволит получить новые данные для разработки мероприятий по повышению эффективности реагентной предобработки воды в осветлителях со взвешенным осадком и фильтрах.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что до середины XX века почти повсеместно, без учета особенностей качества воды источника водоснабжения, применялась только двухступенная схема очистки воды. В ряде случаев это приводило к удорожанию строительства, неоправданному расходу дефицитных материалов, усложнению эксплуатации очистных сооружений, так как требования нормативов на питьевую воду оказывались трудно выполнимыми [3].

Одним из основных способов обработки маломутных вод является использование в технологической схеме процесса коагулирования (в качестве реагента – сульфат алюминия, различные виды оксихлоридов, полиоксихлоридов) [8, 11], с последующим вводом флокулирующих реагентов.

С первых разработок С. Х. Азерьера, В.Т. Турчиновича и Е. Н. Тетеркина в 1931 году в отечественной науке и практике разработано и исследовано довольно большое количество ОВО. В 1937 году осветлитель диффузорного типа был построен на небольших по производительности воды умягчительной станции ТЭЦ в г. Саратове. В нынешних условиях наибольшее число ОВО, работающих на станциях с производительностью более 510 м<sup>3</sup>/сут, относится к осветлителям коридорного типа.

Конструкции осветлителей, разработанных за рубежом (США, КНР, Германия), отличаются в основном тем, что в них имеются встроенные камеры хлопьеобразования с механическим перемешиванием реагента и осадка. В них отсутствуют осадкоуплотнители или их устраивают гравитационного типа с небольшой продолжительностью уплотнения осадка.

В виду климатических особенностей и разнообразной микрофлоры водоисточников Российской Федерации, результаты исследований, сделанных за рубежом, не всегда могут быть применены на практике.

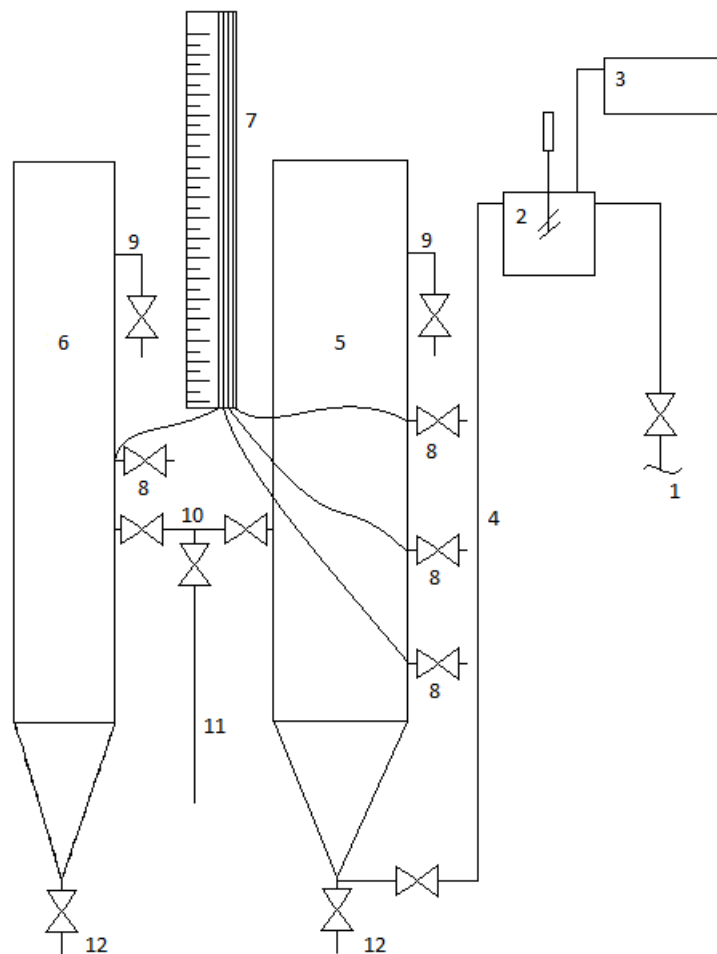
На сегодняшний день по тематике очистки маломутных цветных вод опубликовано менее 100 отечественных патентов (ГУП "Водоканал Санкт-Петербурга", ФГАОУ ВО "СПбПУ", Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Муниципальное унитарное предприятие г. Новосибирска "ГОРВОДОКАНАЛ"). Небольшое количество зарубежных публикаций объясняется локальностью вопроса. Специфические показатели качества воды (малая мутность, высокая цветность, высокая органическая загрязненность) характерны именно для Северо-Западного региона России, в котором основным источником водоснабжения являются реки.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

С целью подбора типа и оптимальных доз реагентов были проведены экспериментальные исследования в условиях действующей водопроводной станции г. Вологды. Эксперимент проходил в несколько этапов:

- пробное хлорирование;
- пробное коагулирование;
- исследование процесса очистки воды по всей технологической цепочке сооружений.

Для моделирования комплексной технологии и изучения процессов хлораммонизации, коагуляции и флокуляции, осветления и обесцвечивания воды в слое взвешенного осадка и на заключительном этапе фильтрования через кварцевый песок был разработан экспериментальный стенд (рис. 1).



**Рис. 2.** Технологическая схема экспериментального стенда. 1 – подача исходной воды; 2 – механический смеситель; 3 – блок реагентного хозяйства; 4 – подача воды, обработанной реагентом; 5 – рабочая камера осветлителя со слоем взвешенного осадка; 6 – осадкоуплотнитель; 7 – доска пьезометров; 8 – пробоотборники; 9 – отвод осветленной воды; 10 – отвод осадка в осадкоуплотнитель; 11 – отвод промывной воды с рабочей камеры; 12 – полное опорожнение рабочей камеры и осадкоуплотнителя.

Для обработки воды использовались: сульфат аммония - реагент для аммонизации; хлор - окислитель; сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия (Аква-Аурат-30), сульфат алюминия+полиоксихлорид алюминия+ПолиДАДМАХ (Аква-Аурат 105М) - коагулянты; полимер акриламида (ПАА), Praestol 650, 852 и 2640 - флокулянты. Точки ввода реагентов в обрабатываемую воду назначались в соответствии с нормативной документацией.

Количественная оценка эффективности аммонизации и коагуляции осуществлялась соответственно по остаточному хлору, аммонии и хлороформу и показателям рН, щелочности, мутности и цветности. В работе использовались стандартные методики исследований и анализы, а также сертифицированное лабораторное оборудование: рН-метр рН-410; фотоколориметр КФК-2; установка пробного коагулирования «Капля», позволяющие получать достоверные результаты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробное хлорирование проводилось в период, когда цветность воды достигала 76 град., перманганатная окисляемость 11,8 мг/л, а щелочность не превышала 4,6 ммоль/дм<sup>3</sup>. Результатами пробного хлорирования воды с дозой первичного хлора 2,8 мг/л по активному

хлору без аммонизации и с предварительной аммонизацией с использованием раствора сульфата аммония с концентрацией 0,5% и дозами 0,28-0,93 мг/л было определено оптимальное соотношение аммония к хлору 1:6-1:10. При таком соотношении образование хлороформа практически не происходило.

Исследования показали, что при очистке речной воды в период весеннего паводка (март) с мутностью 8,7 мг/л, цветностью 56 град., щелочностью 5,3 ммоль/дм<sup>3</sup>, рН = 7,32 и температурой от 4 до 12 °С экспериментально установлено, что «Аква-Аурат 30» и «Аква-Аурат 105М» оказались более эффективными коагулянтами, чем сульфат алюминия для снижения мутности и цветности исходной воды. Доза коагулянта составляла 22,5 мг/л, доза флокулянта – 1,8 мг/л (табл. 1). Из флокулянтов наибольшей эффективностью обладают катионные флокулянты Praestol 650 и Praestol 852, обеспечивающие максимальное снижение мутности очищаемой воды при совместном применении с коагулянтом «Аква-Аурат 105М». Доза коагулянта составляла 20 мг/л, флокулянта – 0,4 мг/л, время отстаивания – 10 минут.

Также удовлетворительные показатели снижения мутности и цветности, как показали экспериментальные данные, при изменении щелочности и цветности обрабатываемой воды могут быть получены с сульфатом алюминия или смешанного коагулянта (сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия) в сочетании с ПАА или Praestol 650 при обязательном включении в технологическую схему перед осветлителем камеры хлопьеобразования для формирования хорошо оседающих хлопьев.

**Табл. 1.** Результаты пробного коагулирования речной воды.

Коагулянт/флокулянт	Мутность, мг/л	Цветность, град.	рН
Сульфат алюминия	26,7	25,5	6,59
Полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30	10,7	21,2	6,70
Полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 105М	10	17	6,74
Сульфат алюминия + Praestol 2640	11,3	19	Не опр.
Полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат 30» + Praestol 2640	6,7	19	Не опр.
Полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат 105М» + Praestol 2640	5,3	17	Не опр.

## ВЫВОДЫ

В ходе комплексного анализа зарубежных и отечественных литературных данных и результатов собственных исследований были сделаны выводы о необходимости изучения вопроса очистки маломутных цветных вод, а также разработки путей интенсификации работы водопроводных очистных сооружений с осветлителями со слоем взвешенного осадка, подверженных техногенной и антропогенной нагрузке.

Данные технологических параметров реагентной предобработки воды, полученные в результате исследования, могут быть использованы для разработки методов повышения эффективности работы очистных сооружений с целью повышения надежности и обеспечения нормативного качества питьевой воды.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Е.В., Васильев А.Л. О проблемах обработки воды в осветлителях со слоем взвешенного осадка // В сборнике: VII Всероссийский фестиваль науки. Сборник докладов: в 2 томах. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 262-264.
2. Руденко Г.Г., Гороновский И.Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях // Киев: Будівельник, 1976. -205 с.
3. Алексеева Л.П., Дружинина Г.В. Оценка эффективности станций с контактными осветлителями при очистке маломутных цветных вод // Водоснабжение и канализация. 2013. № 11-12. С. 54-63.
4. Ивкин П. А., Латышев Н. С. Совершенствование технологии очистки высокоцветных и маломутных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2010. № 7. С. 38-47.
5. Фомина В.Ф., Фомин А.В., Опыт эксплуатации напорных флотаторов при очистке маломутных цветных вод реки Вычегды // Водоснабжение и сан. техника. 2016. № 5. С. 9-16.
6. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Сколубович А.Ю. Очистка маломутных высокоцветных природных вод в реакторе-осветлителе // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 6. С. 126 -129.
7. Вольфтруб Л. И., Корабельников В. М., Гудошникова А. Е. Опыт модернизации отстойников и осветлителей на станциях водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 5. С. 47-50.
8. Фомина В.Ф. Особенности коагулирования маломутных цветных вод реки Вычегды в условиях низких температур // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 8. С. 48-55.
9. Журба М.Г., Говорова Ж.М., Гандурина Л.В., Говоров О.Б., Елюков М.В. Интенсификация процессов очистки маломутных цветных вод в осветлителях со взвешенным осадком (часть 1) // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 4. С. 28-35.
10. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., 2005.

# АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ НЕПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ

А. В. Решетова, И. А. Гульшин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** устойчивое развитие систем водоснабжения и водоотведения урбанизированных территорий

**Цели:** Целью данной работы является предварительный анализ применимости дождевой воды для непитьевого водоснабжения в России.

**Материалы и методы:** анализ баланса непитьевого водопотребления относительно возможного сбора дождевой воды

**Результаты:** проанализированы климатические условия всех субъектов РФ с точки зрения возможного сбора осадков с площади усредненного современного жилого комплекса с учетом характерного распределения площадей покрытий. Выявлены регионы с наибольшим и наименьшим потенциалом использования дождевой воды на непитьевые нужды с рассмотрением тарифов на питьевое водоснабжение.

**Выводы:** системы сбора и повторного использования дождевой воды имеют перспективы для внедрения на территории Российской Федерации при комплексном подходе - экономии ресурсов, снижении антропогенного воздействия на окружающую среду и инженерной защите территории от подтоплений и оползневых процессов.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство развитых стран мира придерживаются целей в области устойчивого развития, разработанных ООН, направленных на достижение лучшего и устойчивого будущего для всего мира. Одной из 17 целей является программа «Чистая вода и санитария», направленная на обеспечение всего населения Земли чистой питьевой водой и безопасной санитарной инфраструктурой [1]. Согласно данным ООН, более 840 миллионов человек до сих пор испытывают острую нехватку питьевой воды, 892 миллиона человек не имеют доступа к современным санитарным системам, а 80% всех сточных вод поступают в водные объекты без очистки.

В России на государственном уровне вопросам водохозяйственного комплекса, защите и охране водных ресурсов посвящены сразу два национальных проекта – «Жилье» и «Экология». Программы, реализуемые в рамках этих проектов, направлены на разработку и внедрение новых передовых технологий как подготовки питьевой воды, так и очистки сточных вод, что должно в конечном итоге привести к повышению уровня жизни и здоровья населения России, а также к защите и сохранению природных ресурсов и биологического разнообразия [2].

Одним из актуальных мировых направлений устойчивого развития в части чистой воды и санитарии является внедрение систем оборотного водоснабжения и альтернативных источников водоснабжения в жилищно-коммунальное хозяйство. В целом подобные системы использовались человеком с самого начала развития цивилизаций. Особенное технологическое развитие получили системы промышленного оборотного водоснабжения, внедряемые в рамках концепции безотходного производства.

К концу двадцатого века эти технологии шагнули далеко вперед. Обратное водоснабжение стало использоваться в жилых домах и кварталах, обеспечивая удаление черных и локальную очистку серых сточных вод. Очищенные таким образом серые сточные воды используются повторно в этих же домохозяйствах в непитьевых целях. Подобные системы внедряются на объектах технически развитых государств, способных обеспечить

гарантированную и безопасную локальную очистку оборотной воды при любых эксплуатационных условиях [3],[4].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Использование дождевой воды в качестве источника водоснабжения получило еще большее распространение в мире. В отличие от очистки серых сточных вод, очистка дождевой воды, собранной с кровель зданий и покрытий внутриквартальных дворовых территорий, не требует особо сложных технологических решений. Надо отметить, что во многих развивающихся странах дождевая вода используется в качестве источника питьевой воды, но в развитых странах использование дождевой воды в качестве питьевого источника сильно ограничено. В основном, собранная и очищенная вода используется в зданиях для удовлетворения непитьевых потребностей в воде, таких как смыв туалетов, стирка, подключение к системам охлаждения, а также для использования в ландшафтном и городском хозяйстве (полив территории, мытье тротуаров), фонтанах и так далее.

Сток с поверхности крыши может обеспечить значительный объем воды для хозяйственных нужд. В среднем крыши составляют 27,767% площади городских территорий, что составляет примерно  $6,6 \cdot 10^{11} \text{ м}^2$  поверхности земли. Пока что использование дождевой воды в большинстве случаев применяется в малоэтажном и индивидуальном строительстве. На рынке существуют комплексные решения для внедрения систем сбора и очистки воды в одноэтажные и двухэтажные здания. Однако, современные реалии приводят к появлению зеленых технологий и многоэтажном строительстве, и даже к реализации подобных систем в масштабах городских микрорайонов. Например, в Австралии проектируемые районы рассматриваются на возможность внедрения централизованной системы сбора дождевой воды для последующей централизованной подачи в жилые дома [5]. Отдельные исследования показывают возможность экономии воды до 60%. Более того, современные исследования, основанные на анализе жизненного цикла внедряемых систем, показывают их большую окупаемость для крупных жилых и коммерческих объектов по сравнению с малоэтажным строительством.

В Российской Федерации также началось постепенное формирование нормативно-технического и технологического обоснования применения систем сбора, хранения и использования дождевой воды. Так, например, в актуализированную редакцию СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» внесен пункт о повторном использовании дождевой воды в торгово-развлекательных, многофункциональных, промышленных и прочих зданиях. В 2021 году в центре Москвы открыт знаковый объект – Дом культуры «ГЭС-2», созданный после реконструкции выведенной из эксплуатации гидроэлектростанции. Следуя целям устойчивого развития, создатели проекта внедрили в него, в том числе, систему сбора и использования дождевой воды.

**Целью данной работы** являлся предварительный анализ применимости дождевой воды для непитьевого водоснабжения в России. В данном случае под применимостью понималось достижение адекватного баланса непитьевого водопотребления относительно возможного сбора дождевой воды для усредненного современного жилого комплекса, расположенного в различных регионах Российской Федерации.

Расчет баланса водоснабжения и водоотведения выполнялся для модельного жилого комплекса, состоящего из трех двенадцатиэтажных жилых домов. Модельный жилой комплекс представлял собой усредненный объект, принятый на основании нескольких реализующихся проектов трех ведущих девелоперских компаний России. Площадь участка была принята 1 га. Из нее 55 % - кровли зданий, 17,5 % - асфальтированные покрытия, 19,5 % - щебенчатые и гравийные покрытия, 8 % - зеленые насаждения и газоны. Расчет водопотребления производился в соответствии с положениями СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [6]. Расход воды на смыв унитазов для

всего модельного объекта составил 28 м<sup>3</sup> в сутки. Данный расход не зависит от климатической зоны. Расход воды на поливку территории согласно СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [7] связан с климатической зоной размещения объекта и степенью благоустройства. Для газонов, цветников и городских зеленых насаждений расход воды на поливку находится в диапазоне 3-6 л/м<sup>2</sup>. В зависимости от климатической зоны частота поливки составляет 1 или 2 раза в сутки. К засушливым регионам можно отнести 16 субъектов Российской Федерации со средней максимальной температурой воздуха наиболее теплого месяца более 28 °С. В прочих регионах в поливочный сезон достаточно 1 поливки в сутки. Таким образом, для модельного объекта данные расходы составят от 4 до 8 м<sup>3</sup> в сутки.

Количество дождевых вод, собираемых с территории модельного объекта, определялось в соответствии с положениями СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [8]. Расчет выполнялся для всех 85 субъектов Российской Федерации с учетом сведений СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» и актуальных данных Гидрометцентра России [9]. Учитывая характер формирования талых вод, они не рассматривались как возможный источник водоснабжения и в расчетах не учитывались.

Для этих же субъектов была собрана информация по актуальным (второе полугодие 2021 года и первое полугодие 2022 года) тарифам на холодное питьевое водоснабжение. Величины тарифов достаточно неоднородны, что позволило использовать их для первичного ранжирования перспективности использования альтернативных источников водоснабжения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно проведенному расчету в 74 субъектах Российской Федерации возможно уменьшение в балансе потребления воды питьевого качества на непитьевые нужды (на смыв унитазов и полив территории) не менее чем на 20% относительно модельного жилого комплекса. Наибольшее количество собранной дождевой воды может быть использовано в Республике Ингушетия, Еврейской автономной области (ЕАО), Краснодарском и Хабаровском краях. При этом в ЕАО один из наиболее высоких тарифов на питьевое водоснабжение в России. Стоимость затрачиваемой питьевой воды на рассматриваемые хозяйственные нужды составляет примерно 1 млн в год. Объем дождевой воды, возможный для использования в денежном эквиваленте составит примерно 360 тыс. рублей в год.

Для экономической оценки применимости технологии необходим глубокий анализ строящихся объектов и применяемых технологий. Очевидно, что количество собираемой для использования дождевой воды будет зависеть от площади жилого квартала, его планировки и ландшафтного дизайна. Для увеличения количества собираемой воды возможно дополнительное расширение площади водосбора за счет общественных рекреационных зон, расположенных рядом с объектом, соседних объектов в селитебной зоне, не предполагающих использование собственных систем сбора дождевой воды. С другой стороны, в настоящее время развиваются технические решения для снижения объемов потребления воды, в том числе на непитьевые нужды, например, при использовании унитазов с экономичным смывом. Эти решения позволяют снизить подобные расходы и приблизить их к полной обеспеченности за счет дождевой воды.

Кроме того, необходимо принимать во внимание, что строительство системы сбора, хранения и использования дождевой воды не только оказывает влияние на возможно снижение эксплуатационных затрат за счет снижения потребления воды питьевого качества, но и позволяет снизить затраты на городскую инфраструктуру – снижаются диаметры труб канализационных сетей, уменьшается требуемая производительность локальных и городских очистных сооружений, принимающих ливневые сточные воды, снижается вредное воздействие на водные объекты при сбросе неочищенных ливневых сточных вод и так далее. Более того, грамотно реализованный сбор дождевой воды с территории снижает риск оползневых процессов особенно в местах с проблемной ливневой канализацией [10], [11].

Помимо уже перечисленных перспективных достоинств системы сбора, хранения и использования дождевой воды необходимо отметить отсутствие сложных технологических процессов, требуемых для реализации подобных систем. Базовая очистка воды строится на отводе первой особенно загрязненной порции поступающей воды, отстаивании и фильтрации оставшейся. Накопительные резервуары представляют из себя готовые емкостные изделия, широко представленные на рынке отечественными производителями. Для разведения технической воды по зданиям требуются трубы малого диаметра в силу довольно малых расходов.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, системы использования дождевой воды для непитьевых нужд можно рассматривать как довольно перспективные решения для внедрения в Российской Федерации. Данные решения соответствуют критериям «зеленого» строительства и помогают в достижении целей устойчивого развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Организация объединенных наций [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/17-goals-to-transform-our-world>.
2. Национальные проекты России [Электронный ресурс]. URL: <https://национальныепроекты.рф/projects>.
3. Imteaz, M., Karki, R., Hossain, I., Karim, M., 2017. Climatic and spatial variabilities of potential rainwater savings and economic benefits for Kathmandu valley. *International Journal of Hydrology Science and Technology* 7 (3), 213–227
4. Hofman-Caris R. et al. Rainwater harvesting for drinking water production: a sustainable and cost-effective solution in The Netherlands? // *Water*. – 2019. – Т. 11. – №. 3. – С. 511
5. Cook, S., Sharma, A., Chong, M., 2013. Performance analysis of a communal residential rainwater system for potable supply: a case study in Brisbane, Australia. *Water Resour. Manag.* 27 (14), 4865–4876.
6. СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий»
7. СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»
8. СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения»
9. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»
10. Matos, C., Bentes, I., Santos, C., Imteaz, M., Pereira, S., 2015. Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building. 29 (11) pp. 3971–3986.
11. Dallman, S.; Chaudhry, A.M.; Muleta, M.K.; Lee, J. The Value of Rain: Benefit-Cost Analysis of Rainwater Harvesting Systems. *Water Resour. Manag.* 2016, 30, 4415–4428



# ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ PR-КАМПАНИИ ДЕВЕЛОПЕРА В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

А. С. Зими́на, С. М. Бороздина

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

## Аннотация

**Предмет исследования:** организация PR-деятельности в инвестиционно-строительной сфере, ее особенности, степень влияния пандемии COVID-2019 на PR-кампанию,

**Цели:** характеристика PR-кампании, разбор ее структуры, обозначение особенностей PR-кампании в девелопменте, выявление влияния коронавирусной инфекции и соответствующих ограничений на выстраивание PR-деятельности девелоперских компаний и путей решения проблем, вызванных ограничениями.

**Материалы и методы:** изучение научной литературы и исследований других авторов; изучение материалов, предоставляемых компаниями инвестиционно-строительной сферы через Online-ресурсы; изучение материалов о деятельности девелоперов, предоставляемых средствами массовой информации.

**Результаты:** выявлены новые тенденции в развитии PR-деятельности компаний инвестиционно-строительной сферы, в числе которых находится ускорение цифровизации процессов, направленных на продвижение имиджа компаний.

**Выводы:** полученное исследование показало, что препятствия, вызванные условиями пандемии, в значительной мере изменили курс организации PR-кампаний девелоперами в сторону более активной цифровизации вытекающих процессов, при этом «Public Relations» не теряют своей актуальности, несмотря на трудности финансирования и изменение приоритетов общественности.

## ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет в условиях пандемии коронавирусной инфекции работа строительных предприятий претерпела свои изменения, и маркетинговые коммуникации, направленные на формирование в массах положительного отношения к соответствующим услугам и продукции, не являются исключением. Теперь при выстраивании коммуникаций с потенциальными потребителями необходимо учитывать множество дополнительных факторов, вызванных карантинными мерами и неблагоприятной эпидемиологической обстановкой, оказавших влияние не только на работу предприятий, но и на приоритеты и возможности населения. Данная необходимость определенным образом отразилась и на проведении PR-кампаний, тем не менее не теряющих своей актуальности по сей день.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

С целью исследования поставленных вопросов, были изучены материалы, предоставляемые в соответствующей литературе, в которой дается конкретный разбор структуры PR-кампании и ее особенностей в инвестиционно-строительной сфере [1-4], и Internet-ресурсах, которые дают наглядное понимание того, как на практике проявляет себя влияние пандемии на деятельность девелоперов [5].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для всестороннего изучения вопроса был выбран метод анализа литературных источников, раскрывающих суть PR-деятельности и ее особенностей в девелопменте,

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Public relations (PR), или же в переводе «связи с общественностью», представляет собой

коммуникативную деятельность, направленную на оценку общественного мнения, выстраивание на его основе политики и процедур компании и планирование программы действий для организации коммуникативного пространства, в котором предприятие сможет выстроить взаимовыгодные отношения с общественностью, обеспечить имидж для положительного впечатления масс. Нередко публик рилейнз рассматривается как управленческая дисциплина или социальная наука, что тоже является корректным. Ещё в 1976 году американский специалист Рекс Харлоу по поручению «Фонда исследований и обучения PR» изучил 472 различных определения PR и сформулировал своё универсальное: «PR – это особая функция управления, способствующая становлению и поддержанию общения, взаимопонимания, расположения и сотрудничества между организацией и ее общественностью».

Необходимо отметить, что рекламная деятельность и PR-деятельность – это не одно и то же. PR-кампания ориентирована в первую очередь на продвижение фирмы, выстраивание ее имиджа и благоприятной среды для ее дальнейшей деятельности, в то время как ключевой задачей рекламы являются продвижение и сбыт продукции и услуг.

Чтобы приблизиться к полному пониманию того, как выстраиваются связи с общественностью, нужно обратиться к схеме модели PR, отражающей механизм формирования общественного мнения (рис. 1).



**Рис. 1** Принципиальная модель организации PR

Инициатором PR-коммуникации выступает заказчик, т.е. клиент, рекламодатель, спонсор. Им оговариваются основные условия проекта-задания, его ключевые цели, примерный объем затрат, специфика, сроки выполнения и ожидаемый результат. Со стороны специалиста по PR фирмы-заказчика оформляется проект-задание в адрес основного исполнителя – PR-агентства на установление необходимых связей с общественностью в лице определенной целевой аудитории.

PR-агентство принимает заказ, оценивает стоимость объема работ, уточняет реальные возможности, подготавливает необходимую исходную информацию для разработки PR-обращения через различные формы: личное сообщение, сообщение в виде заявления, письма, СМИ.

PR-обращение состоит из трех основных частей:

1. заголовок, в котором сжато изложена основная идея текста обращения;
2. основная часть, содержащая исчерпывающие ответы на вопросы: что, где, когда, кем, как и каким образом реализуются бизнес-операции;
3. фирменная марка и реквизиты, включающие в себя отличительные признаки компании: почтовый адрес, номер банковского счета, телефон, факс, торговая марка и т.д.

Каналы передачи обладают широким спектром форм продвижения информации. К примеру, это могут быть устные речевые обращения через ораторские выступления, заявления на пресс-конференциях, церемониальных торжественных открытиях выставок, ярмарок, аукционов и т.д. Также это могут быть дикторский текст по теле- и радиоканалам, какие-либо визуальные формы, рекламные фильмы, видеоролики и клипы с выделением фирменного цвета, товарного знака, фирменного стиля и традиций, СМИ.

Барьеры могут представлять собой влияние конкурентов, низкий уровень качества передачи информации, использование черных, желтых PR и других коммуникационных инструментов, значительно замедляющих скорость коммуникационного канала.

Целевая аудитория – это выделенный по конкретным признакам сегмент потенциальных потребителей, обозначение которого необходимо для продвижения именно той продукции, которая соответствует их интересам и возможностям. В результате целевой сегмент покупателей соединяется с предлагаемыми товарами и услугами, что представляет собой позиционирование торгового предложения и обоснование собственной целевой аудитории.

Обратная связь имеет ключевую роль и обеспечивает PR-участников сведениями о реакции целевой аудитории на поступающие сигналы с учетом всех факторов. Как правило, необходимая информация поступает от потребителей через различные интернет-ресурсы.

В сфере строительства PR-кампании обладают аналогичной моделью, но важно отметить те факторы, которые очерчивают значительную разницу между строительной сферой и другими, и которые необходимо учитывать при планировании PR-деятельности для наиболее успешного выстраивания имиджа надежной организации:

1) жизненный цикл продукта обычно более продолжительный в сравнении с товарами других сфер и может составлять десятки лет;

2) высокая капиталоемкость значительно ограничивает круг потенциальных покупателей недвижимости, ведет к консервативности потребительских предпочтений, которые значительно меньше подвержены влиянию моды;

3) стационарность, неподвижность строительной продукции как при ее возведении, так и при эксплуатации; размещение на определенном земельном участке здания или сооружения делает их зависимыми от стоимости земельного участка, от природных и климатических условий, конъюнктуры цен на рынке земли;

4) индивидуальность спроса на объекты недвижимости; в основном преобладает дифференцированный подход в создании и реализации строительной продукции, учитывающий пожелания индивидуального потребителя.

Из вышеперечисленного вытекает, что на строительную компанию возлагается большая ответственность, так как потребители крайне осторожно выбирают продукт, обладающий высокой стоимостью и, как правило, длительным сроком использования.

Для наглядного представления о PR-деятельности в сфере строительства разберем пример группы компаний «Самолет». Как показало исследование маркетинговых аналитиков осенью 2019 года, о группе «Самолет Девелопмент» знало 51% аудитории, а желание приобрести их продукцию изъявило лишь 3,4%, что было катастрофически мало и говорило о плохо сформированном бренде в восприятии потенциальных потребителей. Группа обратилась к следующим инструментам продвижения:

- сформировала бренд-платформу и выбрала фирменный стиль, которому присущи синие тона оформления, что ассоциируется с комфортом и спокойным состоянием;
- выпустила имиджевый рекламный ролик, посвященный самой группе компаний «Самолет»;
- избрала целевой аудиторией молодых людей и семьи, которые занимают большой процент тех, кто в сегодняшние дни стремится приобрести собственное жилищное пространство;
- организовала комфортную платформу для регистрации личного кабинета, бронирования; онлайн-консультаций, обеспечивающих коммуникативную связь между девелопером и потребителем; на этой же платформе можно изучить новостную ленту, посвященную деятельности группы «Самолет».

В совокупности с этими мероприятиями, иллюстрирующими часть из возможных PR-инструментов, формированию имиджу группы компаний способствовала непосредственно ее

основная деятельность по застройке. Группа компаний активно обустривает новые районы Москвы, Санкт-Петербурга и их областей. На сегодняшний день ГК «Самолет» входит в топ-5 застройщиков России по объему текущего строительства.

Теперь, когда дана характеристика PR-деятельности и ее специфики в строительстве, необходимо проанализировать, какую роль сыграла пандемия коронавируса. Появление COVID-19 способствовало введению карантинных мер и ограничений для предотвращения инфекции, нововведениям в законодательстве и пересмотру организациями возможности перевести часть персонала на удаленную работу. Влияние пандемии отразилось и на доходах и приоритетах потребителей, что так же повлекло за собой изменения в планировании деятельности компаний. При этом пандемия спровоцировала ряд интересных решений девелоперов.

Сильно возросла актуальность социальных сетей и онлайн-СМИ, как и ускорился процесс перевода множества функций и услуг предприятий в режим онлайн. Проведение публичных выступлений и конференций также перешло в дистанционный формат.

Медицинские работники в период пандемии завоевали особое признание за непрерывную работу в рискованных условиях, и у компаний появилась возможность публично выразить поддержку. Так, девелоперская группа компаний «Инград» в апреле 2020 года организовала социальную акцию благодарности, в ходе которой на крупнейших медиафасадах на Новом Арбате в центре Москвы и в социальных сетях компании транслировался социальный ролик с хэштегом «#спасибо».

Вынужденная самоизоляция населения также дала строительным компаниям дополнительную возможность дать знать о себе: ранее упомянутая ГК «Инград» в том же апреле 2020 года в ходе акции предоставила всем желающим подарочную игру «PLAN INGRAD» с доставкой на дом.

Осенью 2020 года стало известно о том, что ряд девелоперов всерьез задумались об организации коворкингов в жилых комплексах для людей, отправленных на удаленную работу. Проекты, которые разрабатывают такие девелоперы, как «Level Group», «A101», «Ingrad», «MR Group», «Главстрой», привлекли к себе дополнительное внимание со стороны населения.

## ВЫВОДЫ

В целом, несмотря на экономические аспекты, вызывающие в период пандемии у строительных компаний наибольшие трудности, сфера PR-деятельности, направленная на выстраивание взаимовыгодных коммуникаций с общественностью и формирование в ее сознании полноценного образа компании, не теряет своей актуальности даже с учетом сокращения финансирования. Ключевым решением множества проблем стало активное использование Online-ресурсов. Неизвестно, сколько еще уйдет времени, прежде чем пандемия коронавирусной инфекции придет к своему концу, но строительные компании уже вряд ли изменят курс действий, значительно отличающийся от того, что был до начала пандемии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вылегжанин Д.А. Теория и практика публик рилейшнз / Д.А. Вылепканин. – М.: Ф, 2019. – 371 с.
2. Жильцова О.Н. Связи с общественностью / О.Н. Жильцова, И.М. Синяева, Д.А. Жильцов. – М.: Юрайт, 2020. – 337 с.
3. Китчен, Ф. Паблик рилейшнз. Принципы и практика : учебное пособие для вузов / Ф. Китчен ; под редакцией Б. Л. Еремина ; перевод Е. Э. Лалаян. — Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 455 с.
4. Ковалева Л. В. Маркетинг в строительстве : учебное пособие / Л. В. Ковалева – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2017. – 125 с.
5. Real Estate Professionals' Association — [Электронный ресурс] URL: <https://repa-pr.ru/> (дата обращения: 24.02.2022).



# ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЧАСТНОГО ПАРТНЁРСТВА

А. А. Плетнева, М. С. Пантелеева

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

На сегодняшний день в мире укрепилась тенденция автоматизации и оптимизации процессов, что касается всех областей. В новых реалиях любые отношения между компаниями, государственными органами бюрократизированы. Очевидно, что некоторые функции может выполнять искусственный интеллект. В настоящей статье речь идёт о муниципальном партнёрстве, это договорные отношения, которые также требуют определённых формальностей, процедур и главное оперативной связи. Может казаться, что проекты муниципального частного партнёрства и интеллектуальная сеть связи – несовместимые вещи. Однако, мы докажем обратное.

Интеллектуальная сеть связи – это важнейший инструмент управления в современном обществе. Каждый сталкивается с ним ежедневно в рамках решения бытовых задач. Например, при использовании приложений, где необходимо подтверждение покупки путем принятия входящего вызова или при даче команд голосовым помощникам («Алисе», «Сири» и т.д.), настройке умного дома (управление пылесосом «Маруся»).

ИСС представляет собой сеть связи, позволяющей предоставлять дополнительные телекоммуникационные услуги, её «сердцем» является интеллектуальная платформа – «аппаратно-программный комплекс, взаимодействующий с сетью связи общего пользования и позволяющий оказывать интеллектуальные услуги связи» [1]. Например, в здравоохранение, чтобы вызвать скорую помощь достаточно ответить на ряд стандартных вопросов голосовому помощнику. С одной стороны, это снижает уровень и активность использования человеческого ресурса, с другой, не во всех областях использование ИСС удовлетворяет население.

В статье рассмотрены проблемы использования ИСС в сфере муниципального частного партнёрства. Муниципальное частное партнёрство представляет собой соглашение двух сторон – публичного партнёра в лице муниципального образования и частного партнёра, которым может быть российское юридическое лицо [1]. Данное соглашение позволяет на взаимовыгодных условиях осуществить реализацию проекта.

Система ИСС в данном случае необходима для эффективного взаимодействия и сокращения сроков выполнения работ по проекту. Чем быстрее доходит информация, тем быстрее принимается очередное решение относительно проекта. Она представляет собой комплекс мер по оптимизации и ускорения работ с помощью применения информационных технологий, в том числе искусственного интеллекта. Интеллектуальная сеть связи внедряется на основании предложенных методов ведущими производителями информационных систем с учетом особенностей их программных продуктов и сферы внедрения. К методологиям относятся такие системы, как Microsoft Solutions Framework (MSF), Microsoft Business Solutions Partner Methodology, Oracle Method, JD Edwards OneMethodology (PeopleSoft), Microsoft OnTarget. [6] В чём же заключается основная проблема в использовании таких технологий в рамках муниципального партнёрства? Во-первых, сразу необходимо оценить состояния органов местного самоуправления в России на сегодняшний день, их оснащённость современной техникой и оборудованием. В этой связи рассмотрим статистические данные, размещенные в таблицах 1 - 5.



**Табл. 1.** Процент государственных организаций, использующих информационные технологии и информационно-телекоммуникационные сети в 2019 г. (в процентах от общего числа организаций) [2]

Серверы	Локальные вычислительные сет	Сеть Интернет (в том числе широкополосный доступ)	Веб-сайт
54,4	58,1	84,8 (79,9)	33,9

**Табл. 2.** Процент государственных служащих, использующих персональные компьютеры, сеть Интернет, портативные устройства не реже одного раза в неделю в 2019 г. (в процентах от среднесписочной численности работников организаций) [2]

Персональные компьютеры	Сеть Интернет	Портативные устройства, обеспечивающие доступ к сети Интернет по мобильной связи, предоставленные организацией
23,9	21,8	3,7

**Табл. 3.** Процент государственных организаций, использующих облачные сервисы, по видам экономической деятельности в 2019 г. (в процентах от общего числа организаций) [2]

Персональные компьютеры	По целям использования	
	размещение программного обеспечения для управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), использование вычислительных мощностей для запуска собственного программного обеспечения, вычислительный сервис, размещение электронной почты	прочие цели
21,7	10,8	10,8

**Табл. 4.** Процент государственных организаций, использующих технологии электронного обмена данными и технологии автоматической идентификации объектов (RFID), в 2019 г. (в процентах от общего числа организаций) [2]

Электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами	Технологии автоматической идентификации объектов (RFID)
63,9	4,3

Во-вторых, обладают ли органы местного самоуправления необходимым количеством квалификационных кадров, умеющих работать с подобными технологиями? Как показывают результаты исследования Аналитического центра НАФИ, проведенного по методике DigComp на портале «Цифровой гражданин» 48% государственных служащих обладают продвинутым уровнем цифровой грамотности, 49% – базовым, 3% – начальным [2]. Но необходимо отметить, что ряд важных цифровых компетенций у госслужащих развит недостаточно: это касается настройки программного обеспечения и защиты персональных данных, что ведет к риску потери информации и ставит под угрозу сохранность информации государственных организаций, особенности при реализации проектов ГЧП/МЧП, где основной процесс предполагает своевременное и, естественно, безопасное финансирование проектов.

**Табл. 5.** Процент государственных организаций, использующих специальные программные средства в 2019 г. (в процентах от общего числа организаций) [2]

Системы электронного документооборота	Для осуществления финансовых расчетов в электронном	Для решения организационных, управленческих и экономических задач	Для предоставления доступа к базам данных через глобальные информационные сети, включая Интернет	CRM-, ERP-, SCM- системы	Обучающие программы
63,1	52,5	49,8	29,4	13,7	9,6

«Грамотнее» других в цифровом отношении сотрудники госучреждений в возрасте 26-35 лет (это всего 15% от общего числа госслужащих РФ), а также проживающие в Москве и Санкт-Петербурге.

Кроме того, у 62% работников госучреждений отсутствует достаточная мотивация оценивать и углублять свои знания в сфере информационных технологий. Хотя именно мотивация позволяет успешно проходить образовательные программы и усваивать нужный материал, даже если такое обучение является обязательным.

В-третьих, муниципальное частное партнёрство достаточно новый механизм для реализации проектов (Федеральный закон «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве...» № 224-ФЗ принят в 2015 году, его предшественником можно назвать Федеральный закон «О концессионных соглашениях» № 115-ФЗ, принятый в 2005 году и по сути является основой для зарождения государственного и муниципального партнёрства в России), поэтому сложно с технической точки зрения продумать внедрение ИСС, так как для этого необходима подробная диагностика [4].

Из названной выше проблемы вытекает следующая – отсутствие специалистов по автоматизации систем управления в данной сфере, так как при столкновении с муниципалитетом сразу возникает правовое поле, созданное федеральными и местными законами (например, Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», Меры защиты информации в государственных информационных системах, утвержденные ФСТЭК России 11 февраля 2014 г. и т. д.) [3].

При работе с достаточно масштабными проектами (в качестве примера возьмём проекты МЧП по возведению новых микрорайонов в сибирских городах или строительство новых транспортных развязок в Москве и Подмосковье) создаётся отдельная проектная документация с пошаговым планом внедрения системы ИСС. Рассмотрим, как это происходит на практике [5].

Сначала на основании решения органа местного самоуправления создаётся муниципальная информационная система (далее МИС), которая включает: управление городской недвижимостью, управление городскими финансами, нормативно-правовое и документальное обеспечение управления, городской кадастр и т. п. [7] Далее используется нормативно-правовая база, регламентирующая создание системы ИСС, с требованиями о защите информации («Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах, утвержденные приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17) [3].

После создания системы проводится её тестирование, затем аттестация и ввод в действие. Затем ИСС работает и обеспечивает более эффективное выполнение проекта МЧП.

В целях оптимизации и улучшения качества взаимодействия между публичным и частным партнёром, необходимо автоматизировать часть функций. ИСС может стать альтернативным решением данного вопроса, поэтому стоит активно внедрять её. Это позволит не только быстрее завершать проект, но и быстрее оформлять муниципально-

частные отношения, что поспособствует развитию муниципалитета, улучшению городской среды, а следовательно и качеству жизни населения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный открытый университет; официальный сайт [Электронный ресурс] URL: <https://intuit.ru/studies/courses/1155/269/lecture/6843> (дата обращения 16.02.2022).
2. Аналитический центр НАФИ; официальный сайт [Электронный ресурс] URL: <https://nafi.ru/> (дата обращения 16.02.2022).
3. Консультант ПЛЮС. официальный сайт [Электронный ресурс] URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 16.02.2022).
4. Panteleeva M., Surnov D., Senchukov D. Conceptual model assessing complex the public-private partnership projects effectiveness. В сборнике: E3S Web of Conferences. 24. Сер. "24th International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment", FORM 2021" 2021.
5. Пантелеева М.С., Сенчуков Д.Е. Анализ состояния рынка крупных ГЧП-проектов в России и за рубежом. / Экономика и предпринимательство. 2020. № 12 (125). С. 804-807.
6. Остроух А.В., Интеллектуальные системы. / Красноярск : Научно-инновационный центр, 2015. С. 110.
7. Фролова Е.В., Медведева Н.В. Социальное партнёрство бизнеса и власти: взаимные ожидания и тенденции развития в современных условиях. / Социологические исследования. 2018. № 2. С. 146-151.

# АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕРКИ КОЛЛИЗИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. С. Лоткин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*В статье приводится анализ использования проверок информационных моделей с помощью программного комплекса Solibri.*

*Ключевые слова: информационное моделирование, документация в строительстве, коллизии.*

## Аннотация

**Предмет исследования:** Проверка информационных моделей на коллизии. Проблемы проверок, методы их решения и использование новых технологий.

**Цели:** Главной целью исследования является изучение методов, способов и технологий проверки информационных моделей на коллизии, а также изучение новых возможностей, на основе технологии проверки информационной модели.

**Материалы и методы:** В исследование рассмотрена работа программного комплекса Solibri, имеющий новые технологии проверки информационных моделей, а также дополнение Solibri API, позволяющее пользователю создавать собственный шаблон правил проверки модели.

**Результаты:** Результатом исследования является изучение новой технологии проверки информационной модели на основе создания собственных правил проверки. Данная возможность позволяет существенно повлиять на работу экспертизы, путем перевода правил строительства в машиночитаемый формат. Также приведено сравнение двух главных программных комплексов, на предмет возможностей проверки информационной модели

**Выводы:** По моему мнению применение таких технологий способно кардинально упростить процесс экспертизы цифровой модели здания, а также ускорить. Путем использования собственных правил проверки, можно улучшить и ускорить процесс проверки цифровой документации.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых значимых проблем разработки строительного проекта является обнаружение коллизий. Эта ситуация влияет на все разделы проекта, но наибольшее влияние проявляется на ранних этапах, так как решения, которые приняты на их основе, приводят к неточностям в других местах. С 2022 года в России провидится обязательное внедрение информационного моделирования в строительстве, которое направлено на улучшение всех процедур создания проекта и результативное взаимодействие его участников. Для повышения объема ввода строительных объектов Минстрой РФ разработал Стратегию развития строительной отрасли и ЖКХ до 2030 года. В силу данных событий строительную отрасль ждет широкое внедрение информационных технологий проектирования, что дает еще большую вероятность появления коллизий при создании проектов. Важность нахождения ошибки, необнаруженной на этапе проектирования, слишком велика, в результате чего информационное моделирование не сможет принести все ожидаемые выгоды, если данные в модели будут некорректные.

Для решения указанных выше проблем сегодня используются технологии проверки моделей на коллизии. Внедрение в деятельность строительных компаний, использующих информационное моделирование, программного обеспечения, способного изучать, исправлять и анализировать коллизии, позволит существенно повысить качество и уровень работы строительной организации. Использование технологии выявления коллизий также дает возможность проверки данных модели на соответствие нормам и стандартам.

В последнее время все большее организаций переходит на использование информационного моделирования используя более технологичный и качественный продукт, в сравнении с САД системами. В процессе работы над проектом, специалисты разных разделов имеют возможность отслеживать изменения в смежных разделах, обмениваться информацией и вносить изменения в режиме реального времени.

Такой вид работы позволяет компании работать более продуктивно, поскольку позволяет исключить ошибки, допущенные на стадии проектирования.

В настоящее время для проверки информационной модели на коллизии используют разные программные комплексы, одним из которых является Solibri Office. Данная программа позволяет быстро выявлять ошибки и коллизии в моделях, находить неполноту данных или отклонения от правил создания модели. Спектр направлений работы данного программного комплекса очень широк. Он позволяет производить автоматический анализ коллизий, а также группировать по определенным параметрам ошибки модели. Особенность данного программного комплекса является дополнение, позволяющее создавать пользователю собственные правила проверки модели. Благодаря таким технологиям, организации принимают более конкретные, продуманные и эффективные проектные решения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программный комплекс Solibri Model Checker является разработкой финской компании и направлен на работу с информационными моделями в формате IFC (Industry Foundation Classes). Данное программное обеспечение является фундаментом в мире проектирования и моделирования. Его обширный функционал позволяет своевременно показать все препятствия и сложности на пути построения качественной модели проекта. Он способен проводить проверки информационной модели по разным типам. Благодаря Solibri можно оценить следующие проверки - изменения или наполнения модели (Рисунок 1):

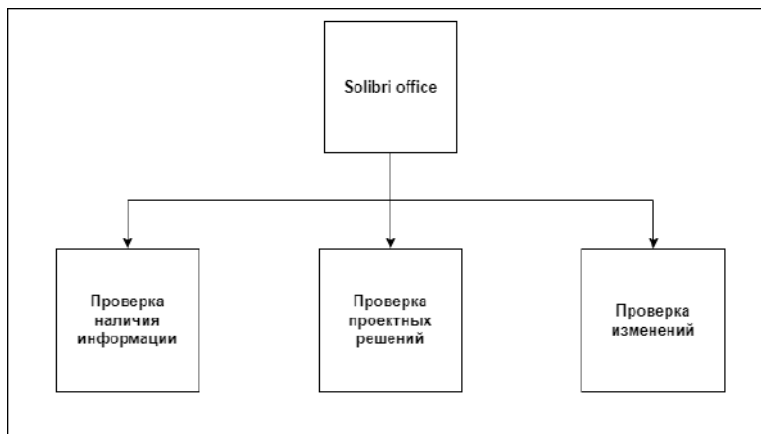
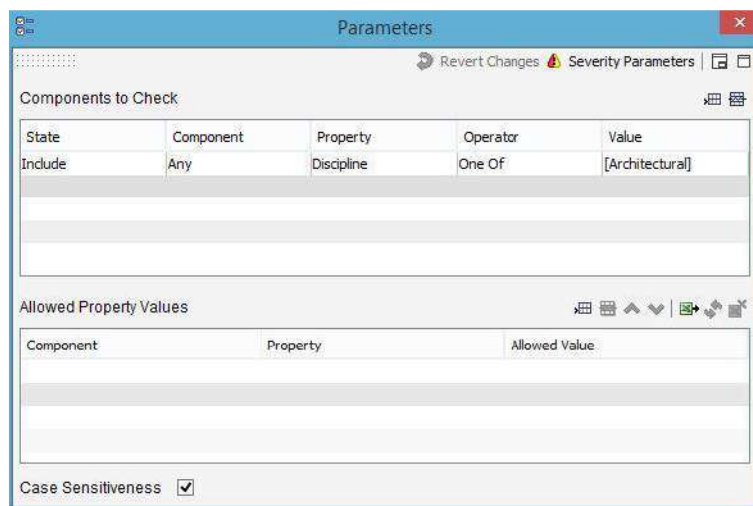


Рис. 1. Проверки по типу информации

Рассмотрим каждый вид проверки.

Проверка наличия информации – это один из способов оценки полноты информационной модели с точки зрения соответствия элементов установленным параметрам и правилам. Для проверки соответствий существует два способа. Первый позволяет создать правила с помощью существующих шаблонов, что в значительной мере ускоряет и упрощает работу пользователя. Так, например, параметры элемента можно вручную внести в таблицу или импортировать из файла электронной таблицы (файл расширения .xls или .xlsx). Ниже, на Рисунке 2, представлен пример ввода параметров из сторонних файлов. На нем изображено окно в виде таблицы, в которую будут заноситься значения, на основе которых будет проводиться проверка модели или элемента модели.



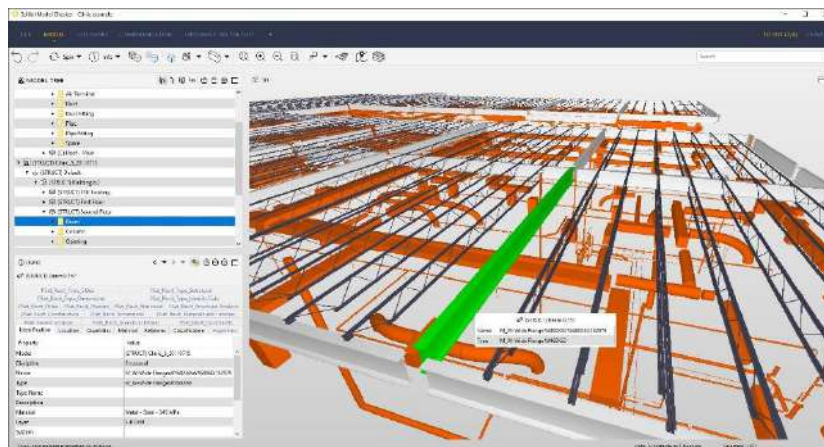


**Рис. 2.** Таблица ввода параметров проверки

В настоящий момент базы правил в Solibri постоянно обновляются и расширяются, что позволяет упростить работу используя имеющийся набор шаблонов. Уже сегодня программный комплекс обладает более 50 сценариями проверки как моделей, так и элементов модели. Например, в настоящий момент, существуют шаблоны позволяющие найти инженерные коммуникации в зоне открывания дверей.

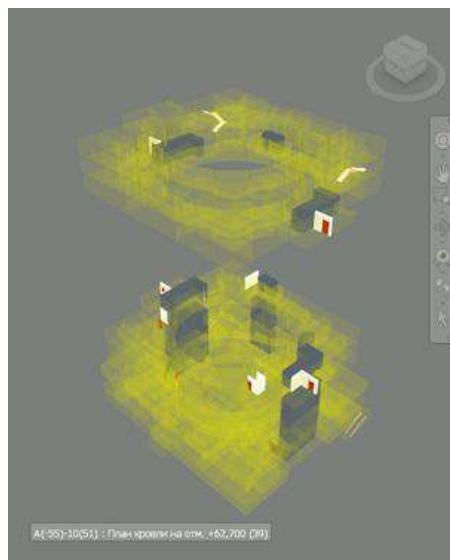
Однако, программа не совершенна, и для повышения эффективности работы, существует второй способ создания проверок наличия информации. Это способ позволяет не только проверить коллизию модели, а также оценить соответствие модели нормативным стандартам. Для реализации таких задач существуют специальные настройки, реализованные в Solibri API. Все правила, разработанные с помощью API, реализуются в интерфейсе программы. При разработке параметры являются важной частью правил, а фильтры являются одним из наиболее важных типов параметров. На основе создания таких проверок, проектировщик может выявить дорогостоящие ошибки проектирования задолго до начала строительства. Это дает время устранить проблемы до того, как они возникнут, и найти более экономичное решение, а также оценить соответствие всем нормам прописанным не только в техническом задании, но и описанным в стандартах строительства.

Проверка проектных решений – это способ оценить геометрические коллизии в информационной модели, а также создание симуляций, на основе которых можно изучить процессы жизнедеятельности еще не построенного здания или сооружения. Данные проверки демонстрируются в Solibri в виде трехмерных моделей, которые наглядно показывают пользователю изменения в конструкции. Один из таких примеров можно видеть на Рисунке 3.



**Рис. 3.** Геометрические коллизии в Solibri Model Checker

Третьим видом проверок является проверка изменений модели. В настоящее время все больше компаний применяет информационно моделирование в своей работе, а крупные компании на рынке имеют целые отделы. Для координации работы сотрудников и применяют данные технологии. Благодаря таким проверкам, разные сотрудники могут отследить последние действия коллег, а также ориентироваться на изменения которые могут вноситься в других отделах. Пример отчета работы программы на выявление изменений можно наблюдать на Рисунке 4.



**Рис. 4.** Отчет изменений элементов в модели

Данные способы увеличивают скорость разработки на ранних стадиях проектирования. Упрощается создание рабочей документации, синхронизация работы сотрудников и повышается качество работы предприятий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По моему мнению одним из самых перспективных методов применения данного программного комплекса является создание собственных правил проверки моделей. Данный способ дает возможность эффективно повысить производительность как отдельного сотрудника, так и производства в целом. Благодаря данной функции появляется возможность создание проверок модели на соответствие стандартам. В угоду развития строительной отрасли в России, а именно цифровизации отрасли, данный метод может сыграть одну из ключевых ролей. Благодаря Solibri множество компаний может создать шаблоны проверок

разрабатываемых проектов, что позволит не только улучшить качество продукта, но и получить экспертный контроль.

Сравнительный анализ двух крупных программных продуктов представленный ниже в Таблице 1, а именно Autodesk Navisworks и Solibri Model Checker, разработанных для проверки информационных моделей наглядно показывает, что Solibri Model Checker располагает большим потенциалом и функционалом, позволяющим выдавать объемный и качественный продукт заказчику.

**Табл. 1.** Сравнительная таблица возможностей решений Autodesk Navisworks и Solibri Model Checker

Параметр сравнения	Autodesk Navisworks	Solibri Model Checker
<b>Проверка моделей</b>		
Проверка на допустимое расстояние (отступ от объекта/ запретная зона/ не моделируемая изоляция)	Да	Да
Проверка наличия свойств пожаробезопасности стен между различными пожарными отсеками	Нет	Да
Оценка компонентов и помещений модели с точки зрения эксплуатации малоподвижными группами населения	Нет	Да
Анализ длины путей эвакуации	Нет	Да
Сравнение моделей	Да	Да
Формирование сводной таблиц изменения количества/объемов/площадей при сравнении моделей	Нет	Да
Формы отчёта проверок	XLSX, nwd (модель просматривается Navisworks Freedom)	XLSX, SMC (модель просматривается Solibri Viewer), BCF
Наличие инструмента сохранения точек обзора на отдельные конструктивные элементы модели	Да, инструмент Сохранение точки обзора	Да, функция Слайды
Наличие инструмента двустороннего комментирования замечаний (Координатор - Проектировщик - Координатор)	Нет	Да, через формат BCF либо через формат SMC (Solibri Model Viewer)

Таким образом, Solibri Model Checker может существенно повлиять на скорость и качество работы предприятий. Благодаря возможности создания собственных правил проверки информационных моделей, каждая организация, применяющая данное программное обеспечение, способна увеличить скорость и качество производимой продукции. Помимо данных преимуществ, использование Solibri позволяет увеличить объемы производства, что положительно влияет на экономическую часть предприятия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мнению авторитетных экспертов, которые я разделяю, использование BIM-технологий позволяет сократить одну из наиболее трудоемких и критичных стадий строительства – разработку проектной и рабочей документации. Снижение трудоемкости данного этапа позволяет значительно уменьшить стоимость выполняемых работ при повышении их качества, а использование программных комплексов для проверки информационных моделей

(ИМ) на коллизии позволяет сделать это на ранних этапах и выдавать максимально качественный результат.

На основе изученных данных, можно с уверенностью сказать о рациональности и необходимости использования систем проверки моделей. Внедрение, в частности Solibri Office, выгодно для всех участников процесса разработки проекта, а использование широкого функционала, позволяет существенно улучшить качество продукции.

В современном мире, в котором так важна не только скорость выполнения поставленной задачи, но и качество, Solibri Office является незаменимым инструментом работы хорошего проектировщика. Данный программный комплекс позволяет не только представить работу в лучшем свете, но и создать модель, которая будет максимально приближена к финальному сооружению, а также помогает избежать проектных ошибок и коллизий на этапе проектирования.

Всеобъемлющая поддержка государства строительной отрасли в части внедрения новых технологий позволяет внедрить комплексы ведущих разработчиков для работы с информационными моделями, как для крупных, так и для мелких игроков отрасли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровизация позволяет сократить сроки строительства на 19% [Электронный ресурс] URL: <https://stroi.mos.ru/news/tsifrovizatsiia-pozvoliaiet-sokratit-sroki-stroitel-stva-na-19-bochkariov?from=cl> Дата обращения: 18.03.2022
2. Проблемы создания информационной модели объекта капитального строительства на стадии строительства [Электронный ресурс] URL: <https://www.normacs.info/articles/928> Дата обращения: 18.03.2022
3. Solibri: BIM и немного амбиций [Электронный ресурс] URL: <https://sapr.ru/article/24960> Дата обращения: 18.03.2022
4. Проведение автоматизированных проверок [Электронный ресурс] URL: <https://sapr.ru/article/24960> Дата обращения: 18.03.2022
5. Кривой С.А. Автоматизированные проверки информационной модели здания на нормативно-техническую документацию Alfabuild. 2 (2). 2017. 54-57 с. Дата обращения: 18.03.2022

# ENVIRONMENTAL PROTECTION. FEATURES OF INFORMATION MODELING AT THE STAGES OF THE HIGH-RISE BUILDING LIFE CYCLE.

E. M. Kochenkova, S. B. Sborshchikov

*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 129337, Russian Federation*

## Abstract

The volume of high-rise construction in Russia is increasing every year, projects are becoming more interesting. At the same time, regulations for such buildings are becoming more serious, and the socio-economic needs are becoming more complex. Environmental protection of such objects is one of the main conditions for maintaining a favorable ecological situation.

**The subject of the research** is the features of information modeling, aimed at the environmental protection at the stages of the high-rise building life cycle.

**The objective of the research** is the scientific substantiation of the applicability of information modeling technologies for sustainability and determination of the tasks, which solution will ensure comprehensive and long-term environmental protection at all stages of the high-rise building life cycle.

**Methods and materials:** The methods of system analysis, the provisions of the sustainability concept and the theory of regulatory impacts, the publications of Russian and foreign researchers, the regulations and technical documentation were applied in this research.

**Results:** The author solved the following tasks in the research: an analysis of modern possibilities and limitations of the application of information technologies in construction was carried out, some solutions for the qualitative development of a sustainable design system and the integration of Green BIM into information models of both the development and separate construction objects were proposed.

**Conclusions:** The author emphasized the issue of the environmental protection in the high-rise construction as the main conclusion. Possible solutions, proposed by the author, may be the development of a national eco-documentation system, unified Russian BIM products with their constant modernization, as well as the awareness of the society and authorities, that the improvement and active application of green building standards will positively affect business.

## INTRODUCTION

High-rise multifunctional and residential complexes define the urban environment and appear in cities [1]. Although the question of the impact of high-rise buildings on the environment arose at the same time, that high-rise construction itself began, today it is becoming especially relevant [2].

High-rise buildings have a relatively large volume and huge capacity, as a result they consume a huge amount of various material and energy resources. It ultimately leads to a negative impact on the environment during the construction and operation, i.e. throughout the entire life cycle of a building. Organization of the environmental protection for such objects is one of the main guarantees of maintaining a favorable environmental situation and sustainable development [3-4].

The World Green Build Council was established in 2002 to promote green construction. Such a council was registered in 2009 in Russia and became a part of the WGBC, where more than 90 councils from different countries still operate. The concept of "green design" had been introduced there, it consists of three advantages: environmental, economic and ensuring the preservation of the environment one. Today the design of high-rise buildings is developing in accordance with these directions.

Since every year the problem of limited resources and their reproduction is becoming more important, the issue of environmental control is becoming especially relevant [5]. The first international standards for "green" construction appeared at the end of the 20-th century and the developed countries all around the world actively applies them, which gives positive results. This field began to actively develop relatively recently in Russia, however the need for national



environmental construction standards is becoming more and more obvious every year [6-7].

Information modeling technologies are becoming increasingly important along with the standardization in eco-construction. The creation and maintenance of an information model of the capital construction object becomes mandatory from January 1, 2022, if funds from the budgets of the Russian Federation are allocated for this object, according to the Decree of the Government of Russia No. 331. So, today the application of information modeling technologies is especially relevant, including in the field of environmental protection [8-10].

## **LITERATURE REVIEW**

The number of works of Russian researchers on the impact of high-rise buildings on the environment is increasing with the growth of high-rise construction [1-5]. Recently, the development of the domestic system of "green" standards has been actively discussed, but so far it has not received practical continuation [6 -7].

The world practice proves, the application of information modeling reduces future costs, and this aspect is crucial for a mass implementation of "green" design. In addition, the calculation of the performance of the future object is extremely important and demands high competence for the compliance of the project with the environmental ratings. The direction of building information modeling, including Green BIM, is developing in accordance with these provisions [8 -11].

Some international software developers already have a number of solutions with Green BIM, but they have not yet gained distribution in Russia due to the lack of the specialized domestic programs [12-14].

## **METHODS AND MATERIALS**

The author applied the methods of system analysis (retrospective, functional-structural), the provisions of the sustainability concept and the theory of regulatory impacts, as well as the works of Russian and foreign researchers on the field of research.

An analysis of the modern regulations and technical construction documentation is carried out as a part of the research. Particular attention is paid to the aspects of the high-rise building design, environmental regulation in construction, "green standards" and information modeling technologies. The prospects for rulemaking in this field are explored, specific issues for consideration and their possible solutions are proposed.

## **RESULTS**

In fact, there is no unified system of environmental standards in Russia. Some developers apply the world's most structured and influential standard systems BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method - approved in the UK in 1990), LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design - USA, 1998), DGNB (Deutsch Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Germany, 2009) etc.

These systems are applied to evaluate energy efficiency and sustainability of a building project. Each of them has its own features, strengths and weaknesses, but still their grading principles are rather similar. Any certification of the project is voluntary, but it is already very popular in many countries, as it is very prestigious and increases the commercial attractiveness of the project.

The author offers the DGNB certification system as a basic tool in the design and quality assessment of a building both at the moment of its commissioning and in the long term. DGNB is the only system in the world, that covers 50 years of a building's life time, i.e. its complete life cycle.

The two main modern regulations in Russia for sustainable construction are the Federal Law No. 261 "On Energy Saving and on Increasing Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation", and the national standard GOST R 54964-2012 "Conformity assessment. Environmental requirements for real estate objects». However, many

developers note, that the specified Federal Law may be often applied only with judicial practice, and the GOST is practically not used for real projects, since it does not give any advantages to construction participants.

The order of the Ministry of Construction No. 1550 "On approval of the requirements for the energy efficiency of buildings and structures" was issued in 2017, it is aimed at the gradual improvement in the energy efficiency of the construction objects. Nevertheless, the sustainable recycling and separate collection of waste, the reduction in the consumption of water resources and its rationalization, high comfort and ecology of the external and internal environment of the objects remain relevant.

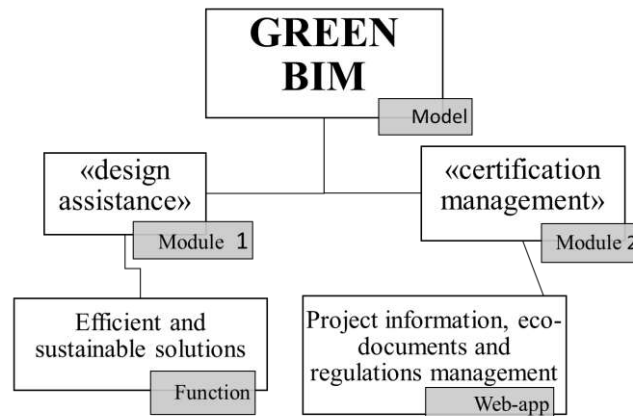
In accordance with the GOST 27751.2014 "Reliability of building structures and foundations", the life time of a high-rise building is should not be less than 100 years. The protection and monitoring of the environment in the process of its long-term operation becomes even more important with the rapid scientific and technological progress and the development of the urban environment. So issues, that have not been worked out today due to the lack of a harmonious system of "green" standards, may cause serious consequences in the future and require significant investments. A constantly improving actual information model allows real-time monitoring of the impact of these processes and its timely adjustment or adoption of new engineering solutions to protect the environment. The completeness of the information model is strictly connected with the effect of its application.

The Code of Rules SP 331.1325800.2017 "Information modeling in construction in Russia" and several other standards are intended to help in the creation and maintenance of information systems in construction. The main requirement of this standard is system interoperability. It means, that all components of the system, including eco-design one, may be designed separately from each other, but ultimately they must be integrated into a common system with a single set of standards.

The above standards relate to capital construction projects, while it is more efficient to consider the environmental situation of a certain territory and building area. Research in this field is just beginning, so the author here also contributes to the further practical development of this direction. The system of the information and analytical support for territories and development must have a certain structure and composition, based on the principles of typification, unification and standardization

Some international standardization systems may already be integrated with BIM in some software systems, but so far they are not interoperable, and, therefore, their practical application in our country is practically impossible. Some modules, between which a free dynamic exchange of information is possible and which are freely connected to a common software package, should be implemented to solve the above issues.

The author proposes to include 2 types of the modules into the integration structure, they are "design assistance" and "certification management" (fig. 1). The design assistance module will help the designers to get efficient and sustainable solutions, built into the BIM toolkit. The certification management module may be implemented as a web application, used to manage project information, eco-documents and regulations for certification purposes.



**Fig. 1.** Structure of integrating Green BIM into a common information model

The project, developed from the very beginning as a building information model from the first proposals of the consultants and architects to the creation of the working documentation, will allow the owners to competently manage the areas and operate the building in the future.

There are some specific interrelated objectives, which should be firstly solved and implemented as a part of the Green BIM-based modules for a sustainable design, the author proposes the following ones:

1. Integration of environmental standards;
2. Creation of a database of climate and meteorological conditions;
3. Simulation of the climate conditions of the construction area;
4. Sun path analysis;
5. Simulation of the illumination and daylight;
6. Simulation of both the outdoor and indoor artificial lighting;
7. Shading analysis of the surrounding buildings;
8. Simulation of the aerodynamic flows;
9. Energy simulation, i.e. modeling of the energy inflows and outflows in a building (both electricity and heat ones);
10. Constant replenishment of the families and innovative solutions for eco-design.

The integration of all these modules into a common information model will provide the best results in the field of sustainability and environmental protection of the building area, especially high-rise one.

As it was noted above, the environmental situation is more expedient to be assessed and monitored not for a specific object, but, at least, for a development area. The question of the compatibility and integration of various separate information models from different sources (various organizations) into a common building information model arises here. In this regard, the author proposes to develop a unified information platform, which will allow forming a complex development model, consisting of the individual models. This problem also one more time emphasizes the necessity for unification and typification of various models.

## CONCLUSIONS

The main conclusion of this research is that the environmental protection of high-rise buildings is becoming particularly acute with the growth of this type of construction in Russia.

The application of information modeling technologies allows creating a single building model, filled with all the necessary information, and getting all sections of the project, including the

one of the environmental protection.

An information model will be useful at all stages of the life cycle: in the process of design, construction and operation.

The application of BIM technologies with integrated Green BIM modules positively affects the visibility of the project, allows making decisions, that reduce the cost and timing of the project and at the same time ensuring maximum comfort and safety of the living environment, at the earliest stages of the planning and design. In addition, the constant adjustment of the information model makes it possible to maintain the required environmental situation during the further operation of the object and quickly respond to external and internal changes, such as the modernization of engineering equipment or changes in the surrounding development.

The development of the proposed domestic Green BIM modules and the design of a single thoughtful system of regulations for "green" construction, which allows integrating the required Green BIM modules into existing information systems, remain relevant.

The common information platform, proposed by the author, which should create the development model out of different individual integrated construction objects, will be useful not only in the organization of the environment protection, but also in solving many practical problems of sustainable development in the region.

An equally important objective, without which it is not possible to overcome the stagnation in the eco-design, is the awareness by society and authorities, that the improvement and active use of green building standards has a positive effect on business, its dynamics, growth and development. Environmental standards contribute to financial savings during the operation of real estate, improve the quality of real estate objects, and create an attractive investment climate, including for attracting foreign investment.

## REFERENCES

1. Oselko A.E. High-rise multifunctional complexes - a symbol of urbanization [Vysotnye mnogofunktsional'nye komplekсы – simvol urbanizatsii ] // Zhilishchnoe Stroitel'stvo. – 2002. – No. 6. – P. 5-7.
2. Enyutina, M.K. Impact of high-rise buildings on the environment [Vliyanie vysotnykh zdaniy na okruzhayushchuyu sredyu] // Innovative methods for designing construction structures of buildings and facilities [Innovatsionnye metody proektirovaniya stroitel'nykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy]: collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Kursk, November 21, 2019 / Southwest State University. – P. 72-74.
3. Kashin M.D., Nabokova T.B., Bgashev V.N. Ecological interaction of high-rise buildings and the environment. The experience of foreign countries. [Ekologicheskoe vzaimodeystvie vysotnykh zdaniy i okruzhayushchey sredy - opyt zarubezhnykh stran] // Architecture and Modern Information Technologies. – 2015. – No. 1(30). – P. 2.
4. Brodach, M.M., Shilkin N.V. A sustainable development strategy is the basis for creating a healthy living environment [Strategiya ustoychivogo razvitiya - osnova sozdaniya zdorovoy sredy obitaniya] // Energoberezhniye. – 2021. – No. 4. – P. 1-11.
5. Etenko V.P. Environmental problems of high-rise buildings [Ekologicheskie problemy vysotnykh zdaniy]// Zhilishchnoe Stroitel'stvo. – 2015. – No. 12. – P. 41-44.
6. Zhukovskaya A.Yu., Geras'kin Yu.M. Application of green standards in Russia: problems and prospects [Primenenie zelenykh standartov v Rossii: problemy i perspektivy] // The Eurasian Scientific Journal, 2019 No. 2, <https://esj.today/PDF/37SAVN219.pdf>.
7. Borodacheva, E.N., Pershina A.S. Problems and prospects for the construction of high-rise buildings in Russia [Problemy i perspektivy stroitel'stva vysotnykh zdaniy v Rossii] // Modern Construction and Architecture. – 2019. – No. 3(15). – P. 12-14. – DOI 10.18454/mca.2019.15.2.
8. Aleksanin, A. V., Zharov Ya.V. The potential of using digital information models in the framework of construction management [Potenzial ispol'zovaniya zifrovyykh informatsionnykh modeley v ramkakh upravleniya stroitel'stve] // Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo. – 2022. – No. 1. – P. 52-55. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55.
9. Sborshikov S., Vvedenskiy R, Markova I. The application of simulation modelling in making operational

- decisions in construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 7, Tashkent, November 11-14, 2020. – Tashkent, 2021. – P. 012106. – DOI 10.1088/1757-899X/1030/1/012106.
10. Lazareva N., Zinov'ev A., Oparina L. A set of measures for the development of informatization and automation of construction and technical expertise [Kompleks mer po razvitiyu informatizazii i avtomatizazii stroitel'no-tekhnicheskikh ekspertiz] // Russian Engineer. – 2021. – No. 2(71). – P. 45-48.
  11. Sheina S.G., Umnyakova N.P., Saltykov N.O. GReen biM is a new approach to design and construction [GReen biM - novyy podkhod k proektirovaniyu i stroitel'stvu] // Textile Industry Technology (Series: "Proceedings of Higher Educational Institutions"). – 2019. – No. 4 (382). – P. 246-250.
  12. Zakharova G. B. GREEN BIM-technologies as a tool for environmental design of buildings [GREEN BIM-tekhnologii kak instrument ekologicheskogo proektirovaniya zdaniy] // Green economy is a strategic direction of sustainability of regions [Zelenaya ekonomika - strategicheskoe napravlenie ustoychivogo razvitiya regionov:]: Materials of the III All-Russian Congress and the international discussion platform ROSPROMECO, Ekaterinburg, 03–04 April 2018/ Compiling editors Yu.V. Korneeva, D.N. Lyzhin. – Materials of the Ural State University of Architecture and Art, 2018. – P. 102-106.
  13. Ansah M.K., Chen Xi, Yang Hongxing, Lu Lin, Lam Patrick T.I.Lam. Review and outlook for integrated BIM application in green building assessment // Sustain. Cities Soc. 2019. Vol. 48. P. 101576.
  14. Jalaei F., Jrade A. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings // Sustain. Cities Soc. 2015. Vol. 18. P. 95–107.