

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра строительства и городского хозяйства

**VII Международная  
научно-практическая конференция  
«Наука и инновации  
в строительстве»,  
посвященная 170-летию В. Г. Шухова**

Сборник докладов

**Том 1**

(Белгород, 12 апреля 2023 г.)

Белгород  
2023

УДК 69  
ББК 38  
С28

С28 **VII** Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации в строительстве», посвященная 170-летию В. Г. Шухова: сб. докл., Белгород, 12 апреля 2023 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – 256 с.

ISBN 978-5-361-01184-1 (т.1)  
ISBN 978-5-361-01183-4

В сборник вошли доклады, представленные участниками VII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве», посвященной 170-летию В. Г. Шухова, состоявшейся в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова 12 апреля 2023 г. В сборнике представлены доклады по направлениям «Строительные конструкции, здания и сооружения», «Информационное моделирование зданий и сооружений», «Современные организационно-технологические решения в строительстве, цифровое управление строительной площадкой», «Управление жизненным циклом объектов строительства».

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, а также для студентов, магистрантов и аспирантов строительных специальностей.

Сборник докладов публикуется в авторской редакции.

**УДК 69**  
**ББК 38**

ISBN 978-5-361-01184-1 (т.1)  
ISBN 978-5-361-01183-4

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2023

## ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Глаголев С.Н. – ректор БГТУ им. В.Г. Шухова, д-р экон. наук, проф.
- Евтушенко Е.И. – первый проректор БГТУ им. В.Г. Шухова, д-р техн. наук, проф.
- Давыденко Т.М. – проректор по научной и инновационной деятельности БГТУ им. В.Г. Шухова, д-р пед. наук, проф.
- Уваров В.А. – директор инженерно-строительного института БГТУ им. В.Г. Шухова, д-р техн. наук, проф.
- Сулейманова Л.А. – заведующий кафедрой строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова, д-р техн. наук, проф.
- Римшин В.И. – руководитель Института развития города Университета Минстроя, заслуженный строитель РФ, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, проф.
- Меркулов С.И. – заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Курского государственного университета, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, проф.
- Демьянов С.С. – начальник управления государственного строительного надзора Белгородской области
- Донченко О.М. – канд. техн. наук, проф. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
- Крючков А.А. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
- Есипов С.М. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
- Хахалева Е.Н. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
- Обернихин Д.В. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
- Фролов Н.В. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	8
<b>Направление 1. Строительные конструкции, здания и сооружения</b>	
<b>Абсиметов В.Э., Лунин П.И., Воробьев Е.Л.</b>	
Особенности коррозионного износа строительных металлических конструкций .....	10
<b>Амелин П.А., Сулейманова Л.А.</b>	
Расчетное обоснование экспериментальных исследований по усилению изгибаемых железобетонных элементов внешним композитным армированием .....	14
<b>Долбина К.И., Чернявский О.С.</b>	
Испытания на сплошность металлопроката.....	22
<b>Колесников В.А., Сапожников П.В.</b>	
Исследование теплопроводности многослойных перекрытий.....	26
<b>Ладейщиков К.В., Чудинов С.А.</b>	
Конструкция лесовозной дороги зимнего действия с длительным сроком эксплуатации.....	29
<b>Лисятников М.С., Лукина А.В., Мартынов В.А., Рощина С.И.</b>	
Определение механических свойств сырьевой древесины, подверженной пожару, для численных исследований древокомпозитных конструкций.....	33
<b>Лукина А.В., Яшкова Т.Н., Рощина С.И.</b>	
Восстановление несущей способности деструктированных деревянных конструкций.....	37
<b>Марченко А.В., Крючков А.А.</b>	
Планирование экспериментальных исследований прочности железобетонных цилиндрических образцов, усиленных стальной обоймой.....	41
<b>Никулин А.И., Ткачев Д.В.</b>	
О целесообразности использования ненапрягаемой высокопрочной арматуры в изгибаемых железобетонных элементах.....	45
<b>Обернихин Д.В., Мещеряков В.М.</b>	
Планирование экспериментального исследования прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов из бетона с добавлением резиновой крошки.....	50
<b>Обернихин Д.В., Мигулина А.А., Обернихин Е.В.</b>	
Численное исследование НДС монолитных железобетонных плит перекрытия, возведенных по технологии раннего распалубливания.....	54
<b>Обернихин Д.В.</b>	
Анализ ширины раскрытия нормальных трещин в железобетонных изгибаемых элементах различного поперечного сечения.....	59
<b>Обернихина Я.Л., Воронкова А.Ю., Кутоманов Д.Е., Шляпкин А.Ф.</b>	
Исследование влияния нагрузки усиления на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов, внешне армированных углепластиком.....	64
<b>Панченко Л.А.</b>	
Структурный синтез строительных конструкций при тепловых воздействиях...	67

<b>Пирьев Ю.С., Мигулина А.А.</b> Эффективные конструктивные решения с применением пенобетона.....	<b>70</b>
<b>Попова М.В., Репин В.А., Усов А.С.</b> Аналитический обзор зарубежных исследований железобетонных балок, усиленных композитными материалами.....	<b>74</b>
<b>Пушкарев И.А., Мусина Э.М., Тратканова А.А.</b> Проектирование элементов строительных и машиностроительных конструкций в разрезе информационных технологий.....	<b>77</b>
<b>Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Анпилов С.М.</b> Анализ характерных повреждений и дефектов строительных конструкций при обследовании кирпичного жилого дома .....	<b>81</b>
<b>Римшин В.И., Кузина И.С., Кецко Е.С.</b> Расчет конструкций перекрытия ацидофикаторов.....	<b>90</b>
<b>Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Фролов Н.В., Демин В.О., Смоляго Е.Г.</b> Оценка остаточной несущей способности монолитных железобетонных резервуаров для хранения воды производственного назначения.....	<b>94</b>
<b>Стативко К.А., Чернявский О.С.</b> Методы испытания стали на осевое растяжение.....	<b>100</b>
<b>Тарануха Н.Л., Новиков М.Ю.</b> Анализ проектных решений фундаментов сплошностенчатых антенных опор сотовой связи.....	<b>103</b>
<b>Фролов Н.В.</b> Анализ моделей развития деградационных процессов в бетоне.....	<b>109</b>
<b>Чибрикин Д.А., Рева Д.В., Лукин М.В.</b> Технология модификации древесины полимерными композициями с наноструктурным наполнителем.....	<b>113</b>
<b>Шорстов Р. А.</b> Совершенствование расчета на устойчивость деревянных стоек переменной жесткости.....	<b>117</b>
<b>Направление 2. Информационное моделирование зданий и сооружений</b>	
<b>Гринчевский Г.С., Корсун Н.Д.</b> Расчет стойки ЛСТК из спаренных сигма профилей в ПК ANSYS.....	<b>121</b>
<b>Дронов Н.В., Еремин А.В.</b> Моделирование пролетного строения в программном комплексе MIDAS CIVIL.....	<b>125</b>
<b>Ельчищева Т.Ф., Черных А.В.</b> 3D-моделирование на основе технологии LIDAR.....	<b>1330</b>
<b>Калашников В.А., Белявская О.Ш., Федоров С.В.</b> Трехмерное моделирование температурных полей в угловых зонах различной конфигурации наружных стен зданий.....	<b>137</b>
<b>Караханян В.Б., Овчинников И.Г.</b> К вопросу о моделировании деформирования магистральных трубопроводных конструкций с учетом воздействия агрессивной среды.....	<b>142</b>

<b>Корольская А.И., Бобровников Е.А., Кучеренко А.С., Долженко А.В.</b> Комплексные решения в разработке проекта посредством BIM инструментов программы ARCHICAD.....	149
<b>Маметьев Д. С., Сююнчгереев М. Ш., Белявская О.Ш.</b> Применение цифровых инструментов при решении вопроса функционального назначения.....	156
<b>Пантелеенко Л.Д., Коршикова К.С., Репрынцев Р.М., Долженко А.В.</b> Применение параметрического моделирования как средство ускорения проектирования.....	161
<b>Пушкарев И.А., Иванов Д.А., Рубцов А.И.</b> Сравнительный обзор ряда универсальных программных комплексов конечно-элементного анализа в строительстве.....	164

### **Направление 3. Современные организационно-технологические решения в строительстве, цифровое управление строительной площадкой**

<b>Абсиметов В. Э., Салтанова Е. В.</b> Развитие индивидуального строительства – одно из направлений стратегии строительной отрасли.....	168
<b>Коршикова К.С., Пантелеенко Л.Д., Суворова М.О.</b> Дроны в строительной отрасли: мировой и отечественный опыт.....	172
<b>Кочерженко В.В., Кочерженко А.А., Андреева Д.А.</b> Совершенствование конструктивно-технологических решений возведения свайных фундаментов.....	177
<b>Кочерженко В.В., Атапина Н.А.</b> Методы монтажа блока покрытия одноэтажного промышленного здания.....	181
<b>Кочерженко В.В., Рекунов Н.О.</b> Разработка нового способа монтажа гибких вант с помощью строительного-монтажных квадрокоптеров.....	188
<b>Шарапов О. Н., Скачкова Ю. В., Рябухина И. Е., Лемешко А. С.</b> Моделирование процесса производства железобетонных работ.....	193

### **Направление 4. Управление жизненным циклом объектов строительства**

<b>Альмухаметова А.Р., Симченко О.Л.</b> Система факторов повышения эффективности предпроектной подготовки объектов строительства.....	198
<b>Водолазская Н. В.</b> Моделирование этапов жизненного цикла объектов и продукции строительного назначения.....	204
<b>Гульбинас А. С.</b> Эффективность светотехнического режима в зданиях дошкольных образовательных организаций.....	210
<b>Есипов С.М., Глабец П.А., Тарасов М.В.</b> К вопросу проведения обследования конструкций зданий, подлежащих капитальному ремонту с целью определения действительного физического износа.....	214

<b>Есипов С.М., Тарасов М.В., Глабец П.А.</b>	
Предпосылки создания единой методики учета износа жилищного фонда.....	219
<b>Ладейщиков Н.В., Чудинов С.А.</b>	
Управление жизненным циклом лесовозных дорог из укрепленного грунта.....	221
<b>Максимов В.А., Борисюк Н.В.</b>	
Внедрение строительства цементобетонных покрытий – инновация в продлении сроков службы автомобильных дорог.....	225
<b>Наумкина Ю.В.</b>	
Прогнозирование значений физического износа многоквартирных домов в течение заданного периода времени.....	229
<b>Никулина Ю.А.</b>	
Факторы, оказывающие влияние на эффективность системы управления объектом капитального строительства на всех этапах его жизненного цикла....	237
<b>Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С.</b>	
Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства.....	240
<b>Тепикин Н.В., Демидов Д.В.</b>	
О классификации методов косвенного мониторинга автодорожных мостовых сооружений.....	245
<b>Черенков А. Ю., Сулейманова Л.А.</b>	
Обследование технического состояния строительных конструкций на протяжении жизненного цикла здания.....	250

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник докладов опубликован по результатам VII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве», которая состоялась 12 апреля 2023 года в БГТУ им. В.Г. Шухова.

Организатором конференции является кафедра строительства и городского хозяйства.

Работа VII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве» посвященная 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства включала основные направления:

- Строительные конструкции, здания и сооружения.
- Информационное моделирование зданий и сооружений.
- Современные организационно-технологические решения в строительстве, цифровое управление строительной площадкой.
- Управление жизненным циклом объектов строительства.
- Техническая эксплуатация и реконструкция объектов жилищно-коммунального комплекса и городской инфраструктуры.
- Комплексная безопасность и ресурсосбережение зданий и сооружений.

– Материаловедение и эффективные материалы в строительстве.

Конференция объединила свыше 200 ученых из вузов России и других стран, в их числе:

- Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия;
- Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия
- Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия
- Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
- Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
- Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск, Россия
- Тюменский Индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
- Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
- Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
- Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

- Саратовский государственный технологический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия
- Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Россия
- Институт «Академия строительства и архитектуры» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
- Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново
- Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия
- Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия
- Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия
- Хулунбуирский институт, г. Хайлар, Китай
- Ферганский политехнический институт, г. Фергана, Республика Узбекистан;
- Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан.

Оргкомитет конференции выражает благодарность участникам и приглашает всех желающих принять участие в последующих конференциях и форумах.

Оргкомитет

# НАПРАВЛЕНИЕ 1 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Абсиметов В.Э., д-р техн. наук, проф.,  
Лунин П.И., магистрант,  
Воробьев Е.Л., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

По данным Росстата [1], за период последних 9 лет на долю нежилого строительства приходится 5-7 % всего строительства страны, из которого только около 17 % отходит на промышленное строительство. Однако, при столь малом количестве введенных в эксплуатацию промышленных зданий на общем фоне введенных в эксплуатацию, он же (Росстат) отдает ключевую экономическую роль именно промышленному строительству.

*Таблица 1*

**Введенные в эксплуатацию здания в период 2013-2022 гг.**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Кол. вв-х зд-й, тыс.</b>	<b>258,1</b>	<b>304,2</b>	<b>306,4</b>	<b>278,3</b>	<b>272,6</b>	<b>261,1</b>	<b>305,5</b>	<b>326,7</b>	<b>403,1</b>	<b>434,1</b>
Жилого назначения	239,1	283,0	286,1	259,5	253,8	242,4	285,8	308,0	383,4	413,0
Нежилого назначения	19,0	21,2	20,3	18,8	18,8	18,7	19,7	18,7	19,7	21,1
<b>Нежил. зд-я, тыс.</b>	<b>19,0</b>	<b>21,2</b>	<b>20,3</b>	<b>18,8</b>	<b>18,8</b>	<b>18,7</b>	<b>19,7</b>	<b>18,7</b>	<b>19,7</b>	<b>21,1</b>
Промышл.	3,0	3,4	3,1	2,9	2,7	2,7	3,3	2,8	2,8	3,0
Сельскохоз.	2,1	2,3	2,5	2,7	2,7	2,6	2,8	3,4	3,5	3,4
Коммерч.	7,1	7,9	7,2	6,1	6,3	6,3	6,1	5,5	5,9	6,4
Администр.	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1	1,0
Учебные	0,9	1,1	1,2	0,7	0,6	0,6	1,1	1,0	0,8	0,8
Системы здравоохран.	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8
Другие	4,0	4,4	4,2	4,5	4,7	4,5	4,4	4,3	4,8	5,6

На сегодняшний день большинство промышленных зданий строится из металлоконструкций. Приоритет металлу над

железобетоном отдают по ряду причин. К основной такой следует отнести то, что расчетное сопротивление бетона растяжению кратно меньше, чем на сжатие, чего не всегда достаточно для удовлетворения требованиям расчетов несущих и ограждающих конструкций. В то же время металл сопротивляется одинаково как сжатию, так и растяжению. Кроме того, металлические конструкции проще в расчетах для инженеров и более предсказуемы в поведении под нагрузками.

Однако, при всех вышеперечисленных достоинствах конструкций из металлов, к их предсказуемости необходимо добавить очень важную деталь – низкое сопротивление огню и коррозии. И, если воздействие открытого огня на металл несущих элементов – исключение из правила эксплуатации, то на неподготовленных и не защищенных поверхностях коррозия выступает их «спутником». Она будет разрушать каждый элемент с разной скоростью в зависимости от водородного показателя среды, конструктивной формы и положения в пространстве, от уровня напряженного состояния, типа сечения профиля, марки стали.

Очень подробно, опираясь на труды Ю. Л. Вольберга, А. И. Кикина, Н. С. Стрелецкого, Н. И. Белини, ответила на вопрос конструктивной формы и положения в пространстве элементов Л. Ю. Рыбакова [2]. В ходе исследования была проанализирована коррозионная стойкость двух ферм кровли, одна из которых изготовлена из парных уголков, а другая из гнутого сварного профиля, с использованием индекса коррозионной стойкости конструкций. В качестве результатов были получены следующие выводы: нижний пояс имеет наименьшую коррозионную стойкость, так как находится в зоне пониженного воздухообмена и скопления пыли, что увеличивает время увлажнения поверхности; стойки имеют наивысший показатель благодаря своему положению, не допускающему образования застойных явлений воды и скопления пыли.

Влияние уровня напряженного состояния металла на скорость коррозии была рассмотрена И. И. Овчинниковым [3]. В ходе его исследования были рассмотрены два случая протекания коррозии: в условиях чистого изгиба при одностороннем контакте с агрессивной средой и, аналогично, без изгиба пластинки. Вследствие проведенного исследования выяснилось, что напряженное состояние действительно влияет на скорость распространения коррозии: с увеличением внутренних напряжений в элементе многократно растет скорость коррозии; также было установлено, что при циклическом нагружении пластинки скорость и интенсивность распространения коррозии выше, чем в статически нагруженной при прочих равных условиях.

Касательно типа сечения профиля элемента и способа подготовки

к нанесению антикоррозионной защиты на конструкции – Ведениковым Г.С. в учебнике «Металлические конструкции» [4] было отмечено повышенное сопротивление коррозии конструкциями из трубных элементов. Автор подмечает, что «на них (трубах) мало задерживаются иней и влага, поэтому они более стойки против коррозии; их легко очищать и окрашивать. Все это повышает долговечность трубчатых конструкций». Обратной стороной в эффективности сопротивления коррозии является сечение из двух уголков на фасонках – из-за большого количества элементов разных типоразмеров между уголками остается щель, внутри которой подготовка поверхности и окрашивание становится практически невозможным; также это место является застойником влаги, что приводит к интенсивной коррозии в элементе.

Разный износ от коррозии строительные металлические конструкции испытывают и в разных условиях окружающей среды. СП «Защита строительных конструкций от коррозии» [5] выделяет, в частности, агрессивность среды по физическому состоянию на газообразные, твердые и жидкие. Характерным воздействием на конструкции можно считать газообразную и, реже, жидкую среду, которые, в свою очередь, от водородного показателя могут быть: при  $pH = 7$  химически нейтральны или, с изменением этого показателя в большую или меньшую сторону, щелочной или кислотной соответственно. В нейтральной среде на поверхности металла происходят равновесные процессы и создается защитная пленка, препятствующая дальнейшей коррозии на поверхности основного металла. Однако, с увеличением (или уменьшением) водородного показателя скорость коррозии возрастает. Причиной этого процесса выступают химические реакции, протекающие на поверхности металла. В результате непрерывного контакта металла конструкций с агрессивной средой, разрушается плотная оксидная пленка, защищающая металл от коррозии [6, 7]. Наличие влаги в коррозионной среде ведет к протеканию реакции по другому пути – электрохимической коррозии, которая является самой распространенной. Вследствие того, что в составе металла присутствуют примеси, на поверхности конструкции в среде электролита (воды) возникает гальваническая пара. Анодом становится окисляемый металл, катодом – примеси и загрязнения поверхности. Интересно, что для таких реакций не обязательно наличие кислорода: окислителем в кислой, нейтральной и щелочной средах выступают ионы водорода.

Но если побороть коррозию на этапе проектирования не удалось,

остается возможность обернуть негативное влияние коррозии себе на пользу. Воздействие на продукты коррозии (оксид железа) преобразователем ржавчины создает на поверхности металла прочную пленку, которая предохраняет от атмосферной коррозии [8-10]. Следует отметить, что срок действия этой пленки сильно ограничен – ее хватит приблизительно на сутки, после чего влага воздуха вновь начнет разрушать защитный и приведет к возникновению новых очагов коррозии. Новейшие составы модификаторов ржавчины следует использовать совместно с лакокрасочными составами, которые надолго ограничат поверхность металла от воздействия окружающей среды.

Сегодня крайне важно проектировать надежные конструкции, обслуживать, прогнозировать и отслеживать состояние которых будет просто. В связи с этим необходимо учитывать влияние на коррозионный износ строительных металлических конструкций от всех факторов (не стоит исключать неупомянутые в рамках этой статьи, а также еще малоизученные), следует с бóльшим вниманием относиться к проектированию конструкций, использование которых планируется в сильно агрессивных средах или на производствах, рабочие циклы которых завязаны на взаимодействии с активными щелочами и/или кислотами.

### **Библиографический список**

1. Строительство // Росстат URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (дата обращения: 01.04.2023).
2. Влияние конструктивной формы на скорость распространения коррозии // Cyberleninka URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-konstruktivnoy-formy-na-skorost-rasprostraneniya-korrozii> (дата обращения: 20.03.2023).
3. Влияние программы нагружения на коррозионно-механическое поведение круглых пластинок // Cyberleninka URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-programmy-nagruzheniya-na-korrozionno-mehanicheskoe-povedenie-kruglyh-plastinok> (дата обращения: 20.03.2023).
4. Ведеников Г. С., Беленя Е. И., Игнатъева В. С., Кудишин Ю. И., Пуховский А. Б., Валь В. Н., Мораческий Т. Н., Уваров Б. Ю., Стрелецкий Д. Н. Металлический конструкции. - 7-е изд. - Москва: Стройиздат, 1998. - 760 с.
5. СП 28.13330.2017 "Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85" (с Изменениями N 1, 2, 3).

6. Коррозия стали в серосодержащей среде // Cyberleninka URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korroziya-stali-v-serosoderzhaschey-srede> (дата обращения: 20.03.2023).

7. Закономерности коррозии стали в нейтральной и щелочной железооксидных пультах // Cyberleninka URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-programmy-nagruzheniya-na-korrozionno-mehanicheskoe-povedenie-kruglyh-plastinok> (дата обращения: 20.03.2023).

8. Калмагамбетова А.Ш., Куркумбаева Р.М., Икишева А.О., Дадиева М.К. Анализ и выбор оптимальных средств подготовки поверхности металла перед окраской // Международный журнал экспериментального образования. - 2015. - №2. - С. 362-363.

9. Абсиметов В.Э., Калмагамбетова А.Ш. Антикоррозионные материалы для подготовки поверхности и окраски металлоконструкций в ремонтных условиях. – Астана: Акмолинская полигр., 1999. – 138 с.

10. Абсиметов В.Э. Дефекты монтажа, методы устранения, надежность и долговечность строительных конструкций. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. – 222 с.

## **РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСИЛЕНИЮ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНИМ КОМПОЗИТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

**Амелин П.А., аспирант,**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Здания и сооружения в процессе длительной эксплуатации требуют проведения ремонтно-восстановительных работ. Процесс реконструкции зданий с железобетонным каркасом зачастую связан с увеличением расчетных нагрузок на их несущие элементы и возникновением повреждений от воздействия агрессивных сред [1]. В связи с этим возникает необходимость усиления железобетонных конструкций. Применение в строительстве полимерных композиционных материалов способствовало дальнейшему развитию методов усиления. Данные материалы имеют высокие прочностные и деформативные характеристики, при этом могут эксплуатироваться в агрессивных средах.

На данный момент накоплен экспериментально-научный опыт исследований о работе усиленных железобетонных конструкций. Развитие и применение методов композитного усиления стало

возможным благодаря теоретическим и экспериментальным работам Римшина В.И., Маиляна Д.Р., Морозова В.И., Бокарева С.А., Польского П.П., Георгиева С.В., Плевкова И.В., Кудякова А.В., Al-Rousan R., Rashid K., Gonzalez-Libreros J.H., Esfahani M.R., Rahimi H., Jariwala V.H., Ritchie P.A., Saadatmanesh H., Ehsani M.R., Triantafillou T.C., Shahawy M.A., Hutchinson A., Li X., Deng J., Xie Y., Wang Y., Chen S и др [2-13].

Анализ работ ученых показал, что кратного увеличения несущей способности нормального сечения элемента при изгибе можно достичь при использовании высокомодульных композитных материалов, увеличении площади композитного армирования путем наклейки нескольких слоев холстов и ламелей в растянутой грани, использовании U-образных композитных хомутов различного угла наклона к продольной оси и обойм в приопорной зоне в качестве анкерующего устройства [14].

Однако, к настоящему времени нет проведенных испытаний железобетонных изгибаемых элементов, имеющих различные соотношения длины композитного усиления вдоль растянутой грани к ее величине ее расчетной длины. Необходимо проведение комплексных экспериментальных исследований по данной тематике.

Для решения поставленной задачи необходимо запроектировать и произвести расчет композитного усиления изгибаемых железобетонных конструкций. В качестве контрольных образцов выбраны железобетонные балки из тяжелого бетона класса В15. Размеры опытных образцов составляют 120×220(н)×1290 мм. Расчетный пролет составил 1100 мм. Геометрические размеры сечений опытных образцов, классы бетона и арматуры, конфигурация и диаметры стержней армирования приняты на основании предварительных расчетов с учетом недопущения разрушения по наклонным сечениям либо вследствие потери общей устойчивости. Схема армирования образцов приведена на рис.1.

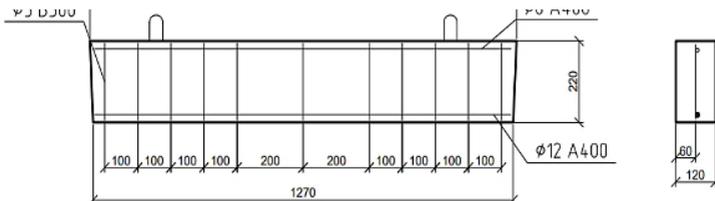


Рис. 1. Схема армирования исследуемой конструкции

Характеристики материалов, необходимые для расчетов по первой группе предельных состояний показаны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики бетона				Характеристики арматуры				
Класс по прочности	$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$E_b$ , МПа	Диаметр и класс	$A_s$ , см <sup>2</sup>	$R_s$ , МПа	$R_{sc}$ , МПа	$E_s$ , МПа
B15	8.5	0.75	24000	Ø12 A400	1,131	350		210000
				Ø5 B500	0,196		300	210000
				Ø6 A400	0,283		350	210000

Несущая способность поперечного сечения балки  $M_{ult}$  определяется согласно СП 63.13330.2018 по формуле:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5 x) + R_{sc} A_s (h_0 - a) \quad (1)$$

где  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона сжатию;  $R_{sc}$  – расчетное сопротивление арматуры Ø5 A400 сжатию;  $b$  – ширина сечения;  $x$  – высота сжатой зоны бетона, определяемая по формулам:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s}{R_b b} \quad (2)$$

где  $h_0$  – рабочая высота сечения, определяемая как разница высоты сечения  $h$  и толщины защитного слоя бетона  $a$  и  $a'$ ;  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры Ø12 A400 растяжению.

Для определения воспринимаемой балкой поперечной силы примем расчетную схему нагружения балки в виде четырехточечного изгиба, с проекцией длинной проекции наклонного сечения  $C$  равной 400 мм (рис. 2).

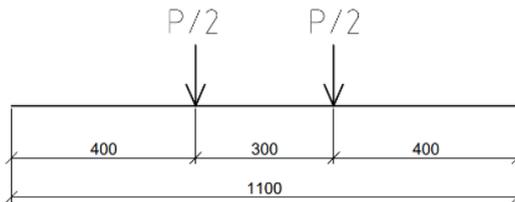


Рис. 2. Схема приложения нагрузки на балку

Воспринимаемая балкой поперечная сила  $Q$  определяется по формуле:

$$Q = Q_b + Q_{sw} = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} + \frac{\varphi_{sw} \cdot R_{sw} \cdot A_{sw} \cdot C}{s_w} \quad (3)$$

где  $\varphi_{b2}$  – коэффициент для бетона, принимаемый 1.5;  $\varphi_{sw}$  – коэффициент для арматуры, принимаемый 0.75;  $A_{sw}$  – площадь поперечного сечения поперечной арматуры Ø5 B500;  $R_{sw}$  – расчетное сопротивление поперечной арматуры Ø5 B500 сжатию;  $s_w$  – шаг

расположения стержней поперечной арматуры Ø5 В500 в пролете среза.

В качестве усиления принята однонаправленная тканая полоса из углеродного волокна SikaWrap – 530 С, которая приклеивается в растянутой зоне шириной 120 мм в один слой.

Лента SikaWrap – 530 С имеет такие физико-механические характеристики:

- нормативная прочность  $R_{f,n} = 3200$  МПа;
- модуль упругости  $E_f = 225000$  МПа;
- расчетная толщина ленты  $t_f = 0,29$  мм;
- площадь сечения ленты  $A_f = 34,8$  мм<sup>2</sup>.

По рекомендациям СП 164.13330.2014 расчетное сопротивление композитного материала растяжению  $R_f$  определяется по формуле:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{fn}}{\gamma_f} \quad (4)$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности композитного материала, зависящий от типа материала и группы предельных состояний, который равен 1,2;  $\gamma_{f1}$  – коэффициент условия работы композитного материала, зависящий от типа материала и условий эксплуатации, для конструкций, находящихся внутри здания равен 0,9;  $\gamma_{f2}$  – коэффициент условия работы композитного материала, учитывающий его сцепление с конструкцией, и определяемый по формуле:

$$\gamma_{f2} = \min \left[ \frac{0.9}{2.5 \cdot \varepsilon_{f,ult} \sqrt{\frac{R_b}{n \cdot E_f \cdot t_f}}} \right] \quad (5)$$

где  $n$  – предполагаемое количество слоев композитного материала;  $t_f$  – толщина одного слоя композитного материала;  $\varepsilon_{f,ult}$  – предельные относительные деформации, которые находятся для сопротивления композитного материала  $R_f$  с коэффициентом  $\gamma_{f2} = 1$ , и определяемые по формуле:

$$\varepsilon_{f,ult} = \frac{R_f}{E_f} \quad (6)$$

Далее проверяется условие  $\xi \leq \xi_{rf}$ , где  $\xi = \frac{x_f}{h}$  – относительная высота сжатой зоны,  $x_f$  – высота сжатой зоны, определяемая из уравнения:

$$x_f = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s + R_f A_f}{R_b b} \quad (7)$$

Величина предельной относительной высоты сжатой зоны  $\xi_{rf}$  рассчитывается по формуле:

$$\xi_{rf} = \frac{\omega}{1 + \frac{R_f}{\varepsilon_{bu1} E_f} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (8)$$

где  $\varepsilon_{bu1} = 0.002$  – предельная относительная деформация бетона при сжатии;  $\omega = 0.85 - 0.008 \cdot R_b$  – относительная высота сжатой зоны бетона, при которой фактическая нулевая линия проходит по арматуре.

На основании полученных значений высоты сжатой зоны усиленного бетона, а также расчетного сопротивления композитного материала растяжению находится фактическая величина несущей способности усиленного сечения балки:

$$M_{f,ult} = R_b b x_f (h_0 - 0.5 x_f) + R_{sc} A_s (h_0 - a) + R_f A_f a \quad (9)$$

Увеличение несущей способности сечения элемента достигается в основном за счет увеличения высоты сжатой зоны элемента от использования композитного армирования.

Результаты расчетов по зависимостям (1-9) для контрольных и усиленных экспериментальных образцов, показаны в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетные величины несущей способности  
экспериментального образца**

$M_{ult}$ , кНм	$Q$ , кН	$R_f$ , МПа	$x_f$ , мм	$M_{f,ult}$ , кНм
7.287	31,14	854,4	57,9	12,485

На основании данных о несущей способности усиленного элемента  $M_{f,ult}$ , и известной двухточечной схемы нагружения, показанной на рис. 2, можно рассчитать предельное значение нагрузки  $F$  на элемент от каждой траверсы:

$$\frac{P}{2} = F = \frac{M_{f,ult}}{c} \quad (10)$$

где  $c$  – расстояние от опоры до точки приложения нагрузки  $F$ .

Для определения рациональной длины композитного усиления по продольной оси растянутой грани построим эпюру (рис. 3) момента от приложения двухточечной нагрузки с эквивалентным максимальным значением  $M_{f,ult}$  и момента, воспринимаемого сечением до усиления  $M_{ult}$  по длине элемента (рис. 3).

Как видно, на расстоянии 230 мм от опоры сечение воспринимает нагрузку от траверсы только рабочей стальной арматурой, что приводит к нерациональному использованию углепластика.

Величина поперечных сил  $Q$ , действующих на усиленный элемент численно определяется величиной нагрузки от траверсы  $F$ , которая для данного элемента равна 31.21 кН, что больше величины поперечной силы  $Q = 31.14$  кН. Усиление нормального сечения может привести к

разрушению элемента по наклонному сечению, поэтому необходимо обеспечить минимальное усиление наклонных сечений композитными материалами.

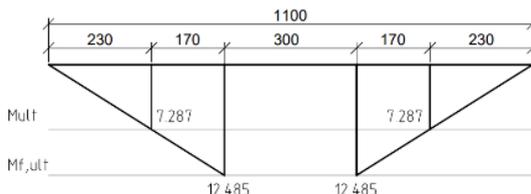


Рис. 3. Эпюры моментов, воспринимаемых сечением до усиления и от приложения двухточечной нагрузки

Исходя из результатов, полученных на основании предварительных расчетов по усилению железобетонных изгибаемых элементов, а также в целях рационализации использования композитного усиления автором разработана программа проведения эксперимента, в соответствии с которой предусматривается разрушение 4 серий изгибаемых элементов и вспомогательных образцов к ним (рис. 4), а именно:

- испытание вспомогательных бетонных образцов проектного класса по прочности на сжатие В15 в виде кубов размером  $10 \times 10 \times 10$  см и призм размером  $10 \times 10 \times 40$  см на сжатие, изгиб, определение начального модуля упругости в количестве 6 шт. на серию;
- испытание вспомогательных образцов в виде арматурных стержней В500, А240 и А500 и однонаправленных тканых полос из углеродного волокна SikaWrap – 230 С на продольное растяжение;
- испытание контрольных образцов железобетонных элементов кратковременной нагрузкой на статический изгиб (серия 1);
- испытание на статический изгиб предварительно поврежденных под воздействием агрессивной среды железобетонных элементов, разгруженных и усиленных холстами из углеродного волокна (серия 2, 3, 4).

В качестве варьируемых параметров при проведении испытания выбрано отношение длины усиленного участка  $L_{yc}$  к расчетной длине элемента  $L$  (1/1, 0.8/1.1, 0.6/1.1), а также угол наклона поперечного композитного армирования  $\alpha$  (90%, 60%, 45%). Поперечное композитное армирование в элементах одновременно усилением наклонного сечения элемента несет функцию анкеровки углеродных лент в растянутой зоне к бетону.

SikaWrap 230С шириной 50 мм и шагом 100 мм, имеющих такие физико-механические характеристики: нормативная прочность  $R_{f,n} = 3200$  МПа;

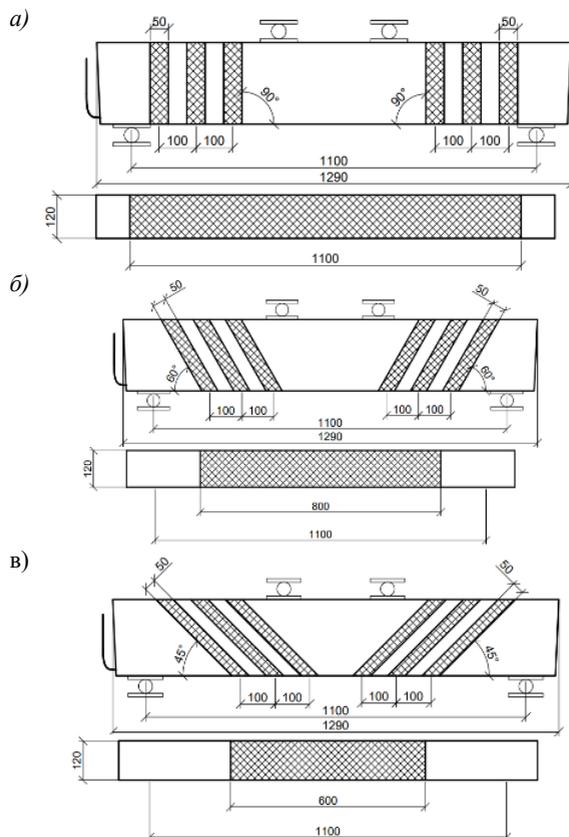


Рис. 4. Конструктивные схемы опытных усиленных образцов: *а* – серия 1 ( $L_{yc}/L = 1$ ;  $\alpha = 90^\circ$ ), *б* – серия 2 ( $L_{yc}/L = 0,8/1,1$ ;  $\alpha = 60^\circ$ ), *в* – серия 3 ( $L_{yc}/L = 0,6/1,1$ ;  $\alpha = 45^\circ$ )

Поперечное армирование запроектировано из углеволокнистых лент.

Произведенный авторами расчет выполнен с целью рационального использования композитного материала при выполнении экспериментальных исследований по усилению железобетонных изгибаемых элементов.

Значения разрушающих моментов позволили построить эпюру эффективной работы композитного материала по длине элемента. Вариация угла наклона поперечного композитного армирования к продольной оси элемента позволит получить обширные данные по работе усиленных железобетонных элементов на изгиб.

### Библиографический список

1. Сулейманова, Л.А., Амелин П.А. Развитие процессов коррозии железобетона в условиях хлоридной агрессивной среды // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства, Белгород, 14 апреля 2022 года. Том 1. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022.
2. Римшин В. И., Сулейманова Л. А., Амелин П. А., Фролов Н. В. Композитное усиление железобетонных изгибаемых элементов, поврежденных под воздействием хлоридной агрессивной среды // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 29-34. DOI 10.51608/26867818\_2023\_1\_29.
3. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: учебное пособие. – М.: Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, 2009. 87 с.
4. Клевцов В.А., Коровин Н.Н. Разработка, исследование, диагностика и усиление железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 1997. № 5. С. 21-22.
5. Меркулов С.И., Татаренков А.И., Стародубцев В.Г. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 4(992). С. 41-43.
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Каргузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2004. 144 с.
7. Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами // Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 15-16.
8. Римшин В.И., Меркулов С.И., Есипов С.М. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2(35). С. 93-100.
9. Gonzalez-Libreros, J.H., Sneed, L.H., D'Antino, T., Pellegrino, C. Behavior of RC beams strengthened in shear with FRP and FRCM composites. *Engineering Structures*. 2017. 150(1). Pp. 830–842. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.084.
10. Al-Rousan, R., Abo-Msamh I. Impact of anchored CFRP on the torsional and bending behaviour of RC beams. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. No 4(96). P. 79-93. DOI 10.18720/MCE.96.7.
11. Jariwala, V.H., Patel, P.V., Purohit, S.P. Strengthening of RC Beams

Subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites. Procedia Engineering. 2013. 51(1). Pp. 282-289. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.01.038

12. Rashid, K., Li, X., Deng, J., Xie, Y., Wang, Y., Chen, S. Experimental and analytical study on the flexural performance of CFRP strengthened RC beams at various pre-stressing levels. Composite Structures. 2019. 227. Pp. 1–12 (111323). DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111323.

13. Георгиев С.В., Польской П.П., Маилян Д.Р. Особенности работы под нагрузкой сжатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. 114 с.

14. Амелин, П. А. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций внешним композитным армированием // VII Международный студенческий строительный форум - 2022: Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума, Белгород, 24 ноября 2022 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 13-20.

## **ИСПЫТАНИЯ НА СПЛОШНОСТЬ МЕТАЛЛОПРОКАТА**

**Долбина К.И., студент,**

**Чернявский О.С., ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В металлических изделиях при производстве, монтаже и эксплуатации могут возникнуть дефекты, которые являются концентраторами напряжений в металлах, ослабляют сечение и повышают вероятность разрушения. [1]. В зависимости от происхождения дефекты металла можно разделить на производственно-технологические, монтажные и эксплуатационные.

Для обнаружения нарушений целостности металлов используются следующие методы дефектоскопии: магнитные, капиллярные, ультразвуковые, просвечивание [2].

В основе магнитно-порошковой дефектоскопии лежит использование индикаторных порошков или мелкодисперсных черных и цветных люминесцентных суспензий (взвесь магнитных частиц в жидкости).

В детали создается постоянное, переменное или комбинированное магнитное поле. Под воздействием этого поля намагниченные частицы образуют рисунок на поверхности детали. На участках, где нет

дефектов, частицы повторяют рисунок силовых линий. Если есть какие-либо трещины или другие посторонние включения в металле – это приводит к образованию скопления частиц вокруг дефекта. [3] Следы обозначаются маркерами, а после дешифровки узора, которая выполняется визуально или с использованием светильников ультрафиолетового свечения, изделие размагничивается.

Метод магнитопорошковой дефектоскопии позволяет выявить несплошности на глубине до 2 мм [3].

Капиллярный метод контроля – это универсальный метод неразрушающего контроля и диагностики, основанный на процессе проникновения пенетрантных, капиллярных жидких веществ в поверхностные дефекты (трещины), несплошности на поверхности металлов. В результате чего повышается свето- и цветочувствительность дефектного участка относительно неповрежденного.

Процесс капиллярного контроля основан на том, что красный или зеленый флуоресцентный пенетрант (благодаря своим специфическим свойствам) не только идеально распределяется по поверхности, но и проникает в каждую из трещинок открытую на поверхности металла.

Процесс выявления несплошностей капиллярным методом подразделяют на пять стадий:

1. Подготовка объекта (очистка).
2. Заполнение полостей индикаторным пенетрантом.
3. Удаление излишков индикаторного пенетранта.
4. Нанесение проявителя.
5. Контроль.

По размеру наименьших выявляемых дефектов определяют чувствительность цветной дефектоскопии. Как следует из ГОСТ 18842-80, основным параметром дефекта, по которому оценивают чувствительность, является ширина его раскрытия. Исходя из того, что глубина и длина дефектов имеет существенное влияние на возможность их обнаружения, эти параметры считаются стабильными [4].

Ультразвуковая диагностика основывается на том, что колебания с высокой частотой (примерно 20 тыс. Гц) способны проникать в металл и отражаться от дефектов [5]. Узконаправленная волна создается дефектоскопом и проходит через исследуемое изделие. При наличии дефекта она распространяется с отклонениями, которые можно зафиксировать на экране прибора. Результаты, полученные в ходе УЗК дают возможность узнать характер выявленного дефекта. Например, по времени прохождения ультразвукового сигнала – измеряется

расстояние до неровности; по амплитуде колебания отраженной волны – примерные размеры дефекта.

На сегодняшний день в промышленной сфере используется четыре основных метода выполнения ультразвукового неразрушающего контроля. Различие заключается в способах, которые используются для получения и оценки информации о дефектных зонах.

1. Импульсный эхо-метод. В этом методе один преобразователь используется в качестве приемника и источника волны. Ультразвуковую волну направляют на контролируемую область, а отраженный от дефекта сигнал регистрируют [5].

2. Теневая методика. Два преобразователя устанавливаются по разные стороны контролируемой зоны. Первый из них создает УЗ-волну, а другой регистрирует отраженный сигнал. Как правило, дефект в данном методе можно обнаружить при исчезновении УЗ-колебаний. В потоке появляется «глухая зона». Здесь она говорит о том, что в этом районе сигнал не прошел из-за дефекта [5].

3. Зеркальный эхо-метод. В этом случае оба преобразователя устанавливаются, с одной стороны. УЗ-колебания формируются при помощи первого прибора и регистрируются вторым прибором. Такой способ наиболее эффективно подходит для поиска дефектов, расположенных под прямым углом к поверхности исследуемого изделия (трещины и т.п.) [5].

4. Зеркально-теневая методика. Фактически это теневой метод. Однако приборы размещаются на одной стороне. По результатам проведения дефектоскопии оператор регистрирует не прямой поток УЗ-волн, а отраженный от второй поверхности контролируемой зоны поток. Глухие зоны в отраженных колебаниях указывают на наличие дефекта [5].

Наиболее достоверным и точным способом контроля сплошности металлопроката является радиографическая дефектоскопия. При проведении радиографического контроля сварочных соединений и швов необходимо соблюдать требования ГОСТ Р 7512-82.

В основе действия рентгеновского контроля лежит поглощение рентгеновских лучей, зависящее от плотности среды и атомного номера элементов в материале объекта. Луч, проходящий сквозь различные дефекты (трещины и раковины), ослабляется по-разному. В процессе регистрации распределения интенсивности проходящих лучей, определяется факт наличия и расположения различных дефектов [6]. На рис. 1 эпюра интенсивности излучения за деталью дает представление о характере изменения интенсивности. Напряженность излучения при прохождении лучей через плотное включение падает, а при

прохождении пустотелой раковины интенсивность возрастает. В данном случае, участок с большей толщиной вызывает большее падение интенсивности излучения.

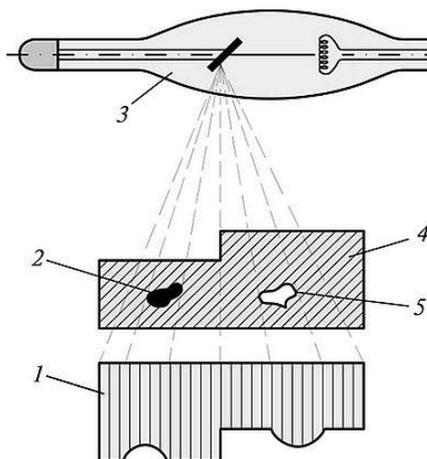


Рис. 1. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки: 1 – эпюра интенсивности излучения; 2 – плотное включение в материале детали; 3 – рентгеновская трубка; 4 – контролируемая деталь; 5 – пустотелая раковина

Результаты, полученные в ходе контроля изделий, конструкций, сооружений, выполненного аттестованными специалистами, использующими сертифицированное контрольно-измерительное оборудование, применяющими достоверные и надежные методы, крайне важны в промышленном производстве, энергетике, строительстве. Они позволяют предотвратить возникновение аварийных ситуаций и техногенных катастроф, вызванных различными скрытыми дефектами, не обнаруженных своевременно.

### Библиографический список

1. Стативко К.А. Испытания металлоконструкций на ударную вязкость / Образование. Наука. Производство. Часть 6: сб. материалов конф. XIV Международный научный форум // БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. С. 119-122
2. Металлические конструкции: учебник для студ. Учреждений выш. Проф. Образования/ Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева
3. ГОСТ Р 56512-2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы.
4. ГОСТ 18842 – 80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.

5. ГОСТ 24507-80 Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии.

6. ГОСТ Р 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ**

**Колесников В.А., аспирант**

**Сапожников П.В., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В связи с ростом цен на энергосбережение во всем мире и с уменьшением запасов энергоресурсов в строительном деле все острее становится проблема исследования теплопроводности различных материалов в сочетании их друг с другом. Целью их компоновки является уменьшение теплопроводности стен жилых зданий и других строительных сооружений. Хорошо известным фактом является то, что через стены жилых домов теряется около половины тепла. Особенно в домах, которые были построены в советское время, ведь с тех пор прошло уже достаточно много времени. Тем более большинство домов – панельные, а поэтому они не имеют достаточную теплоизоляцию [1].

Существует множество методов утепления конструкций – это и наружное, и внутреннее утепление их. Данные методы являются хорошими, но они несовершенны, так как, хотя конструкция и будет утеплена, но теплотери все равно будут иметь место, и конструкция станет промерзать. Это – только зря потраченные деньги и время. Повышение термического сопротивления стены за счет увеличения ее толщины не целесообразно, а увеличение теплозащиты дома с помощью оштукатуривания дает низкий эффект. Для получения нужного термического сопротивления ограждающих конструкций необходимо, чтобы конструкция была многослойной. Поэтому подбор достаточной толщины слоев с целью их эффективности, выбора материалов и их компоновки требует дополнительного исследования [2].

Попробуем исследовать температурное поле одним из математических методов. Для этого рассмотрим решение задачи нестационарной теплопроводности, когда исследуемая область состоит из четырех частей с различными коэффициентами теплопроводности (рис. 1).

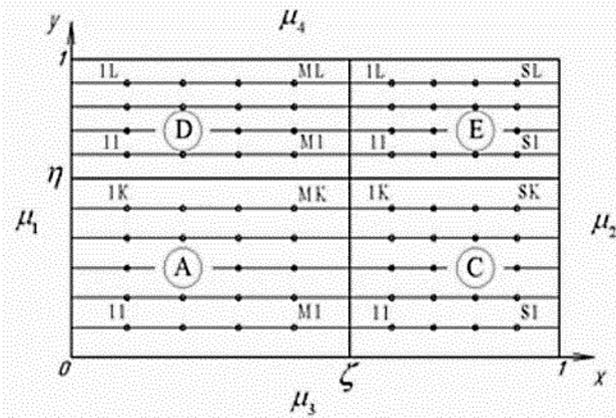


Рис. 1. Расчетная схема теплопроводности многослойной среды

Задача сводится к решению следующего уравнения [1]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ a(x, y) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ a(x, y) \frac{\partial u}{\partial y} \right] + f(x, y, t), \quad (1)$$

где коэффициент теплопроводности  $a(x, y)$  имеет значение:

$$\begin{aligned} a_A, 0 < x < \zeta, 0 < y < \eta; a_D, 0 < x < \zeta, \eta < y < 1; \\ a_C, \zeta < x < 1, 0 < y < \eta; a_E, \zeta < x < 1, \eta < y < 1; \end{aligned} \quad (2)$$

в области  $\{x, y, t\}, 0 < x < 1, 0 < y < 1, x \neq \zeta, y \neq \eta$ , которая удовлетворяет начальные условия (1), условия в пределах границ (2):

$$u(x, y, 0) = \varphi(x, y); \quad (3)$$

$$a_1 u(0, y, t) + \beta_1 \frac{\partial u(0, y, t)}{\partial x} = \mu_1, a_2 u(1, y, t) + \beta_2 \frac{\partial u(1, y, t)}{\partial x} = \mu_2,$$

$$a_3 u(x, 0, t) + \beta_3 \frac{\partial u(x, 0, t)}{\partial y} = \mu_3, a_4 u(x, 1, t) + \beta_4 \frac{\partial u(x, 1, t)}{\partial y} = \mu_4, \quad (4)$$

и условиям сопряжения (5):

$$u|_{x=\zeta-0} = u|_{x=\zeta+0}, u|_{y=\eta-0} = u|_{y=\eta+0}. \quad (5)$$

Для численного решения задачи каждый слой материала по толщине разбивается соответствующим шагом, который содержит узловые точки [3]. Решение уравнений теплопроводности в окрестности узловых точек каждого слоя ищем в виде квадратичного полинома. Например, для слоя А полином имеет вид:

$$P(x, x_k, t) = \sum_{i=0}^2 A_i^k(t)(x - x_k), \quad (6)$$

где  $x_k$  – координата узловой точки;  $A_i^k(t)$  – коэффициенты полинома.

При  $x = x_k$  получаем значение температуры  $A_i^k(t)$  в  $k$ -м узле. Это позволяет находить температуру не только в узлах в окрестности определенных точек, но и в пределах контакта материалов, что очень важно при подборе теплоизоляционных материалов для конструкции стен. Т.е. мы сможем увидеть, как будет себя вести температура в каждом слое, и узнаем, многослойная конструкция достаточно теплая или холодная, что очень важно при строительстве домов.

Изменяя пределы интегрирования уравнений теплопроводности (1):

$$[x_k - a_k h_{Ax}, x_k + a_k + h_{Ax}], \quad (7)$$

за счет числового коэффициента, изменяя толщину слоев и коэффициенты теплопроводности материалов, – можно подобрать необходимую компоновку материалов [4, 5].

Таким образом, предлагаемая методика позволяет анализировать компоновку материалов с целью улучшения теплоизоляционных свойств соответствующих конструкций, а также исследовать температурное поле многослойных сред различного характера.

### Библиографический список

1. Харламов С.Л., Зайцев Ю.В., Гузев Е.А. Пирадов К.А. Расчет несущей способности двухслойных железобетонных элементов с нижним слоем из легкого бетона // Бетон и железобетон. -1998. - №3. – С. 13-15.
2. Сулейманова Л.А., Абдуллаев И.Н., Зиятдинова А.Н. Использование многослойного железобетонного перекрытия с теплоизоляционным слоем из бетона низкой проводимости / Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства. Том 2. Белгород, 2022. С. 178-183.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973.
5. Рындюк В.И. Методика теплотехнического расчета многослойной среды / В.И. Рындюк, Т.В. Прилипко // Вестник Винницкого политехнического института. – 2003. – № 3. – С. 35–38.

## КОНСТРУКЦИЯ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ ЗИМНЕГО ДЕЙСТВИЯ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ладейщиков К.В., аспирант,  
Чудинов С.А., канд. техн. наук, доц.  
*Уральский государственный лесотехнический  
университет, г. Екатеринбург, Россия*

Дорожная одежда автомобильной дороги – это многослойная искусственно возведенная линейная конструкция. Конструктивные слои располагаются по принципу увеличения их плотности и прочности снизу в верх. Верхняя часть конструкции, выполняется из плотных материалов и выполняет защитные функции от атмосферных осадков и воздействий от транспортных средств.

Состав основных слоев конструкций дорожных одежд лесовозных дорог: покрытие; основание; рабочий слой или сооружаемое земляное полотно из привезенного и уплотненного соответствующего типа грунта; существующее естественно-уплотненное грунтовое основание.

Каждый слой в покрытии или основании выполняет свою функцию, от любого из слоев зависит стоимость строительства дороги и ее долговечность в целом.

Слои основания дорожной одежды воспринимают основную приложенную нагрузку от транспорта и распределяют ее на земляное полотно. Покрытие дороги выполняет защитную функцию, обеспечивает качество и скорость передвижение по дороге (например, асфальтобетон).

Основной материал лесовозных дорог – уплотненный, в редких случаях со щебнем или промышленными древесными отходами, местный грунт, который утрачивает свои физико-механические свойства при неблагоприятных факторах (под влиянием атмосферных осадков и воздействием от груженого транспорта), а при благоприятных факторах восстанавливает их (продолжительные засухи, ремонтно-восстановительные работы).

Для временных зимних лесовозных дорог, основным и единственным материалом является существующий грунт, который под действием отрицательных температур окружающего воздуха, уплотняется и промерзает на достаточную толщину, необходимую для восприятия нагрузок от груженого транспорта.

Промерзший существующий грунт на глубину 500-700 мм, таким образом является основанием зимней дороги. В качестве покрытия используется снег, который своевременно уплотняется (трамбуется) и образует снежно-ледяное покрытие, или лед, который послойно в течении зимы формируется поверх промерзшего грунтового основания.

Учитывая динамическое изменение климата, в сторону потепления и «плавающие» пограничные сроки начала и окончания стабильных холодов (весна, осень), количество календарных дней эксплуатации зимних дорог всегда разное.

Первостепенной задачей является продление срока эксплуатации зимних лесовозных дорог, путем подбора и проектирования соответствующих конструктивных слоев.

Таким образом, чтобы построить временную дорогу зимнего действия с увеличенным сроком эксплуатации, строить ее надо капитально и в два этапа: работы в конце осени (проводятся один раз при прокладке трассы), и работы зимой (выполняются каждую зиму). Летом и осенью выполняются изыскательные работы (намечаются маршруты), выполняются прорубка и расчистка просеки, строится основание (по принципу изолированного «в корыте» грунта), устройство водопропускных сооружений (при необходимости).

При этом важно прокладывать трассу с учетом ее максимально перекрытия тенью от высоких преград (деревьев), что позволит более продолжительнее эксплуатировать ее в весенний период [1].

С наступлением холодов начинают уплотнять и выравнивать грунт, с целью его ускоренного промерзания. При достаточном промерзании (15-20 см), формируют снежно-ледяное покрытие.

Зимние лесные дороги проектируются однополосными и двухполосными. Для однополосных дорог (лесовозные усы) ширина проезжей части принимается от 4,0 м до 4,5 м, а ширина отвода – 8,0 м (ширина просеки). Для двухполосных дорог (лесовозные ветки), ширина проезжей части назначается 9,0 м, а ширина отвода – от 12 м до 14 м.

В современных условиях лесную лесовозную дорогу надо строить как двухполосную (9,0 м ширина проезжей части), а эксплуатировать как две однополосные, чередуя полосы для эксплуатации и для ремонтно-восстановительных работ, тем самым также продля общий срок.

Основание такой дороги необходимо выполнить, летом, изолированным «в корыте» грунтом, который с наступлением отрицательных температур промерзнет на контролируемую толщину (на всю устроенную толщину) и далее не будет подвержен отепляющему воздействию от не промерзшего грунта.

Для этого, по оси трассы, производится снятие растительного слоя 15-20 см и выемка грунта шириной в основании 12,0 м и глубиной 0,8 м (в сумме глубина до 1,0 м). Грунтовое основание уплотняется до требуемой плотности с коэффициентом уплотнения не ниже 0,95 и выполняется подготовка (отсыпка) из гранитного отсева толщиной

100мм для сборной теплоизоляции. Производится повторное уплотнение.

Слой теплоизоляции может быть сборным из теплоизоляционных плит плотностью не менее 50 кг/м<sup>3</sup> (экструдированный пенополистирол), толщиной 100 мм или монолитным, например, из доменного шлака, толщиной 300 мм (при этом данную изоляция необходимо периодически менять).

При использовании доменного шлака, в качестве утеплителя, необходимо выполнять прослойки из геосинтетических материалов (между грунтовым основанием и шлаком, между шлаком и верхним слоем грунта).

Далее следует произвести обратную послойную засыпку и уплотнение ранее вынутого грунта.

Зимой при интенсивном промерзании устроенного слоя грунта, исключается прямой контакт между ним и грунтом, который не успевает промерзнуть. Слои (промерзший и не промерзший) не взаимодействуют между собой и в верхнем слое возникнет меньше деформаций.

Известный факт, что весной, когда повышается температура воздуха, начинается интенсивная фаза промерзания верхнего слоя лесовозной дороги. Температура верхнего слоя повышается от -15 °С до -5 °С, что приводит к увеличению размеров верхнего слоя и появлению деформаций сжатия в горизонтальном направлении в результате чего возникают морозобойные трещины. Вначале зимы идет быстрое промерзание грунта (меньше воды переносится к зоне промерзаний), результат – меньше морозобойных трещин и повреждений. Весной промерзание происходит медленно (низкая разница температур), воды переносится больше, результат – больше трещин и разрушений покрытия.

По этой причине, только весной ограничивают движение грузового транспорта по автомобильным дорогам.

Зимой по трассе необходимо чистить снег, шириной 9-10 м, до полного промерзания грунта, и для исключения в верхнем слое деформаций, и соответственно морозобойных трещин, поперек дороги, необходимо выполнить деформационные швы (выполнить прорези в промороженном грунте, можно, например, резчиком швов с алмазным диском Ø 500, на глубину не менее 1/3 от толщины промерзшего грунта) с шагом 15-20 м.

Далее, в ходе зимы наращивать слои из уплотненного и оплавленного снега по всей ширине на толщину до 25 см, регулярно ликвидируя колесобразование.

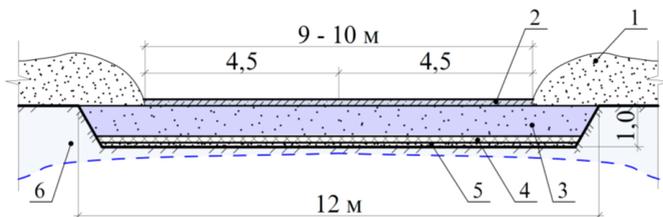


Рис. 1. Поперечный профиль дороги: 1 – счищенный снежный покров; 2 – снежно-ледяное покрытие; 3 – промерзший изолированный грунт; 4 – слой теплоизоляции; 5 – выравнивающий слой; 6 – промерзший естественный грунт

Проектирование зимних дорог не может быть осуществлено без расчетной базы, которая включает расчеты слоев существующего естественного грунта, на прочность, деформативность и устойчивость, расчеты распределения температуры (в слоях грунта) [2].

При современном подходе к проектированию зимней дороги, все расчеты необходимо выполнять в автоматических специализированных программах.

Расчет конструкций основания зимней дороги по характеру деформирования и математической модели, чаще всего рассматривают как «плиты» на упругом (слоистом) основании (полупространстве).

В качестве «плит» принимают уплотненный снег или снеголед или лед на промерзшем грунте, жесткость которого сравнима с жесткостью «плиты».

Реже используют математическую модель в виде тонкой плиты, лежащей на линейно-деформируемом основании или многослойной балкой неограниченной длины [3], [4]. Данная модель принимается для слабых грунтов и болот. Тонкой плитой обозначается, слой льда лежащий на воде или слабом грунте.

Основным этапом строительства зимней лесовозной дороги, является замораживание основания, устройство базового снежного покрытия и регулярный уход за покрытием, включающим его послойное наращивание и ликвидацию колеобразования [5].

### Библиографический список

1. Чудинов С.А. Увеличение сроков эксплуатации зимних лесовозных дорог при блокировании солнечных лучей / С.А. Чудинов, К.В. Ладейщиков // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–9 декабря 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – 78-82 с.
2. Миляев, А. С. Прочностные расчеты конструкций зимних ле-

совозных автомобильных дорог методом конечных элементов / А. С. Милев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2008. – № 5. – С. 52-61.

3. Морозов, В. С. Обоснование и разработка оптимальных конструкций и технологии строительства зимних лесовозных дорог на болотах : дис. ... кандидата технических наук : 05.21.01 / В.С. Морозов, Санкт-Петербург. лесотехн. академия. - Санкт-Петербург, 1992. - 251 с. – Текст : непосредственный.

4. Морозов, В. С. Особенности расчета поперечного изгиба оснований зимних автомобильных дорог на заболоченных грунтах / В. С. Морозов. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2018.6.128. – Текст : непосредственный] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 6(366). – С. 128-137.

5. Чудинов С.А. Адаптационные технологии в строительстве лесовозных дорог в условиях изменения климата / С.А. Чудинов // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2010. – № 2 (9). – С. 76–81. – Библиогр.: с. 81.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫРЬЕВОЙ ДРЕВЕСИНЫ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ПОЖАРУ, ДЛЯ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Лисятников М.С., канд. техн. наук, доц.,  
Лукина А.В., канд. техн. наук,  
Маргын В.А., аспирант,  
Рощина С.И., д-р техн. наук, проф.**

*Владимирский государственный университет  
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

При разработке новых видов строительных конструкций, в т.ч. деревокомпозитных, определяющую роль играет выявление напряженно-деформированного состояния. Самым точным способом определения прочности и жесткости конструкции является натуральный эксперимент [1]. Но он связан с большими трудовыми и финансовыми затратами, что позволяет использовать его с технико-экономической точки зрения только в конечной стадии разработки конструкции – подтверждения полученных ранее расчетов по двум группам предельных состояний.

Для точного анализа работы конструкции на всех стадиях нагружения уже несколько десятилетий используется моделирование методом конечных элементов в программных комплексах [2, 3],

например, ПК ЛИРА [4]. В них реализованы различные материалы и строительные изделия, загружаемые из баз со своими физико-механическими характеристиками. Однако в частных задачах при разработке композитных конструкций требуется создание нового материала, а, следовательно, возникает необходимость определения его механических свойств для построения кусочно-линейной зависимости – диаграммы «напряжения – относительные деформации» (рис. 1).

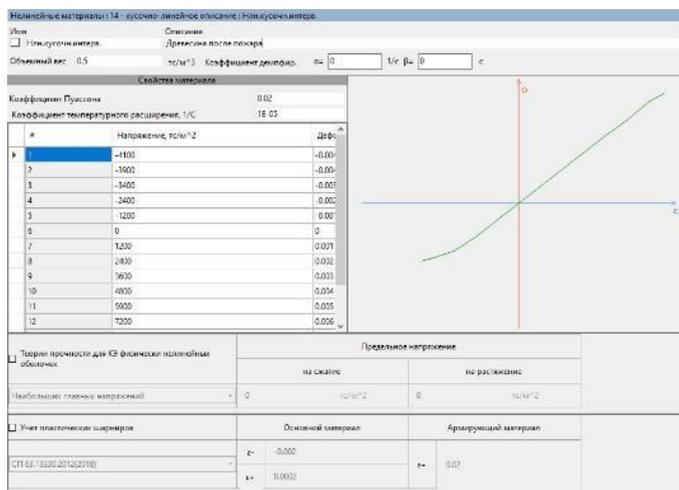


Рис. 1. Кусочно-линейное описание материала в ПК ЛИРА 10.12

Авторами предлагается создание деревокомпозитной балочной конструкции частично состоящей из ламелей древесины, подверженной огневому воздействию. Лесные пожары наносят огромный вред состоянию естественных лесных экосистем. Охваченные огнем 3 млн. га лесных массивов в Сибири в 2019 году наглядно показывают, какую опасность для жизни и здоровья людей представляют возгорания в лесу, какой ущерб они наносят имуществу и живой природе. Лесом покрыто почти две трети территории России. Общая площадь земель лесного фонда, по данным Рослесхоза, составляет 1 млрд 146 млн га. Ежегодно в России регистрируется от 9 тыс. до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до 3,5 млн га. В настоящее время наблюдается острейший дефицит твердых пород древесины. Поэтому особенно остро встает задача максимально полного использования природных древесных ресурсов за счет более широкого применения, там, где это возможно.

Сырьевую древесину, подверженную огневому воздействию, предполагается разместить в средней зоне по высоте сечения балки, так как там минимальны главные напряжения, что позволит использовать древесину со сниженными физико-механическими характеристиками. Для установления фактического снижения несущей способности сырьевой древесины, подверженной пожару, требуется проведение лабораторных испытаний на стандартных образцах [5].

Образцы отбирались из деревьев (сосна) после пожара. Степень повреждения древостоев пожаром в среднем по площади сечения выбиралась 15-20 %, так как образцы, взятые из деревьев с повреждением более 20 % отбраковывались в результате визуального осмотра и пробных испытаний. Отбор древесины для изготовления образцов выполнялся по среднему диаметру ствола и по схожей степени повреждения дерева пожаром. На каждый образец наносили маркировку, отражающую стадийность отбора: *E* – эталон; *K* – комлевая часть; *C* – срединная часть; *B* – вершинная часть. В качестве эталона были приняты образцы сосны из неповрежденной пожаром древесины.

Все требования к отбору и изготовлению образцов соответствуют ГОСТ 16483.0-89 (СТ СЭВ 6470-88). Были проведены исследования по определению механических свойств древесины, подверженной огневому воздействию, а именно определение прочности при сжатии вдоль волокон по ГОСТ 16483.10-73, при скалывании вдоль волокон ГОСТ 16483.5-73\*, при статическом изгибе по ГОСТ 16483.3-84 (СТ СЭВ 390-76), при растяжении вдоль волокон древесины по ГОСТ 16483.23-73\*. Исследования проведены в Лабораториях кафедры «Строительные конструкции» ВлГУ с использованием испытательной машины РЭМ-100-А-1 из Центра коллективного пользования. Перед испытаниями образцы выдерживались до влажности близкой до нормализованной влажности, с последующим пересчетом показателей на 12 % влажность.

Была определена разрушающая нагрузка по каждому виду испытаний. Так, при скалывании вдоль волокон нормальное напряжение составило в комлевой части 7,42 МПа, в срединной части 7,68 МПа, в вершинной части 6,58 МПа, эталон 8,52 МПа. При сжатии вдоль волокон нормальное напряжение составило в комлевой части 25,85 МПа, в срединной части 24,64 МПа, в вершинной части 12,32 МПа, эталон 30,43 МПа. При статическом изгибе нормальное напряжение составило в комлевой части почти 55,0 МПа, в срединной части 50 МПа, в вершинной части 40,62 МПа, эталон 69,88 МПа. При растяжении вдоль нормальное напряжение ( $\sigma$ ) составило в комлевой части почти 82,17 МПа, в срединной части 72,13 МПа, в вершинной

части 61,34 МПа (эталон 98,11 МПа).

В результате механических испытаний получены следующие результаты и зависимости:

Обнаружено снижение прочности поврежденных образцов по всем видам испытаний.

При статическом изгибе прочность поврежденных образцов из вершинной части снижается на 41 %, при сжатии вдоль волокон – 60 %, при растяжении – 37,4 %, при скалывании вдоль волокон – 22,7 %.

Наименьшее снижение прочности наблюдалось у образцов, взятых из комлевой части: при статическом изгибе снижение составило почти 23 %, при сжатии вдоль волокон – 14 %, при растяжении вдоль волокон 16 %, при скалывании вдоль волокон до 13 %.

Также установлено, что диаграммы «напряжения-деформация» образцов, поврежденных пожару, сравнимы с диаграммами неповрежденных образцов. Наблюдается общая тенденция: наибольшую прочность показывают образцы, испытывающие растягивающие усилия. При сжатии образцы разрушались из-за потери местной устойчивости и их разрушение носило вязкий характер, поэтому эту древесину можно использовать в сжимаемых элементах деревянных конструкций. Разрушению предшествуют значительные деформации. Образцы на растяжение обладают более высокой прочностью, но хрупкие при разрушении.

Проведенные механические испытания позволяют сделать вывод о том, что древесина, подверженная огневому воздействию имеет сниженные физико-механические характеристик. Самое резкое уменьшение прочности происходит в вершинной части дерева. Поэтому использовать древесину из вершинной части дерева в качестве конструкционного материала недопустимо. Древесину из комлевой части и срединной возможно частично использовать в неответственных элементах деревянных конструкциях, в т.ч. деревокомпозитных.

Полученные результаты позволяют задать кусочно-линейную зависимость материала сырьевой древесины, подверженной пожару, в ПК ЛИРА 10.12 для моделирования деревокомпозитных конструкций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01579, <https://rscf.ru/project/22-29-01579/>

### **Библиографический список**

1. Попов Е.В., Стольпин Д.А., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Напряженно-деформированное состояние панелей на деревянном каркасе с различными вариантами крепления обшивки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. –

2016. – Т. 4, № 5-2(25-2). – С. 133-139.

2. Еремин, В.В. Анализ напряженно-деформированного состояния висячей комбинированной системы на основе ПВК ЛИРА / В.В. Еремин // Строительная механика и конструкции. 2013. № 2(7). С. 86-93.

3. Водяников, М.А. Численное и экспериментальное моделирование жесткого стыка слоистых деревянных конструкций / М.А. Водяников, Г.Г. Кашеварова // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2017. Т. 13, № 2. С. 84-92.

4. Зобачева, А. Ю. Численный анализ напряженно-деформированного состояния узлового соединения клееных деревянных арок на стальных цилиндрических нагелях / А.Ю. Зобачева // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 7-2. С. 38-39.

5. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood / A. Lukina, M. Lisyatnikov, V. Martinov [et al.] // Architecture and Engineering. 2022. Vol. 7, No. 3. P. 44-52.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЕСТРУКТИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Лукина А.В., канд. техн. наук,**

**Яшкова Т.Н, канд. техн. наук, доц.,**

**Рощина С.И., д-р техн. наук, проф.**

*Владимирский государственный университет  
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

Древесина широко используется в качестве одного из основного конструкционного материала с долгой историей, что приводит к большому количеству великолепного и ценного архитектурного наследия. Древесина, вид природного биоразлагаемого вещества, будет гнить, разлагаться до усадки, растрескивание некоторыми организмами при подходящей температуре и влажности условия [1, 2]. Таким образом, усиление и восстановление несущей способности деструктированных деревянных элементов приобретает актуальный характер. Усиление деревянных конструкций можно разделить на две группы. Первая – это традиционная технология, заключающаяся в резекции сгнившей части и добавлении новых древесных заготовок на пораженный участок [3, 4]. Другой – импрегнировать полимером деструктированный участок деревянной конструкции [5, 6].

Ставилась задача – получить компонентный состав для импрегнирования древесины, отвечающего требованиям высокой проникающей способности, низкой вязкости, возможности холодного отверждения, приемлемой жизнеспособности, хорошей смачиваемости

и возможности взаимодействия со структурными элементами древесины [7]. Возможности эпоксидных смол по изменению прочностных характеристик при модификации привели к их широкому использованию в различных областях строительства [8].

Для решения поставленной цели был разработан полимерного состава на основе эпоксидной смолы. Эпоксидная смола является одним из наиболее распространенных термореактивным полимером, используемых для проникновения и укрепления древесины. Отверждение происходит при комнатной температуре, обладает высокими прочностными свойствами, нетоксична. Были проведены экспериментальные исследования по определению механических свойств импрегнированной древесины, а также была изучена адгезионная прочность [9, 10]. Импрегнирование полимерным составом способствовало дальнейшему улучшению физико-механических характеристик, таких как гидрофобность, механические свойства, за исключением небольшого отклонения цвета.

Поэтому предложенный состав можно рекомендовать для усиления разрушенных деревянных конструкций.

Предлагаемая в рамках исследования технология усиления [11] позволит восстановить прочностные и эксплуатационные параметры поврежденного конструктивного деревянного элемента, например, деревянной балки (рис. 1). Технологию по восстановлению несущей способности разрушенных деревянных конструкций условно можно разделить на три этапа: подготовительный, основной и заключительный.



Рис. 1. Блок-схема технологии по восстановлению несущей способности разрушенных деревянных конструкций

На рис. 1 желтым цветом выделены работы, которые входят в подготовительный этап; синим – основные работы; зеленым – заключительный этап.

Работы методом инъекции необходимо производить после сушки деревянных балок, преимущественно при положительных температурах. Оптимальные условия импрегнирования достигаются при влажности древесины 12-16 %, поэтому влажность исходной древесины доводят до этих значений.

Сверление отверстий для инъекций следует производить перпендикулярно к поверхности балки, для арматурных стержней - наклонно к поверхности балки под углом 45°. Полученные отверстия следует очистить от древесной муки.

Поскольку рабочий состав для пропитки поврежденной древесины состоит из эпоксидной смолы, отвердителя, пластификатора и разбавителя, технологический процесс приготовления состава заключается в их смешивании. Смешивание отдельных компонентов должно быть тщательным. Порядок смешивания компонентов должен быть строго соблюден: начать с эпоксидной смолы ЭД-20, затем добавить отвердитель, перемешать в течение короткого времени 2-3 мин, затем добавить пластификатор и аналогично разбавитель. Продолжительность перемешивания 5-10 мин.

Полимерную композицию необходимо доводить до нужной вязкости. Это достигается путем добавления разбавителя, а в данном случае в качестве разбавителя выбран ацетон. Условная вязкость композиции по вискозиметру ВПЖ-1м должна составлять 12-13 Па·с при температуре 20±1 °С. Готовую полимерную композицию выливают в приемный бункер растворонасоса. Жизнеспособность разработанного состава составляет 80 мин.

Перед началом работ рекомендуется произвести пробную инъекцию полимерного состава в балку с целью уточнения расхода раствора, радиуса его распространения и режима обработки.

Усовершенствованные методы восстановления деревянных балок, ослабленных биологическим повреждением, могут быть достигнуты за счет:

1. Сокращения времени простоя оборудования.
2. Внедрения более современного оборудования.
3. Соответствующей подготовки рабочих полимерных составов и их вязкости.
4. Сокращения потерь материала.
5. Механизации ручных операций.
6. Соответствующий операционный контроль.

7. Проведение контроля операций принимаются в соответствии с требованиями СНиП 12-01-2004.

Цели импрегнирования заключаются не только в улучшении гидрофобность, механических свойств сгнившей древесины, но и сохранить первоначальную внешности, что имеет решающее значение с точки зрения принципа аутентичности архитектуры и вопросов охраны наследия.

Разработанное техническое решение по восстановлению деревянных балок, ослабленных деструкцией древесины, рекомендуется использовать при реставрации памятников архитектуры, а также частных малоэтажных зданий.

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ).

#### **Библиографический список**

1. Roshchina S. и др. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures // MATEC Web of Conferences., 2018.

2. Якорская, Е.А. Становление и воссоздание храмов Артемиево-Веркольского мужского монастыря / Е. А. Якорская, Б. В. Лабудин, С. П. Заварихин // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 2(15). С. 25-30.

3. Lukina A. и др. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood | Механические и микроструктурные изменения сырьевой древесины, подверженной огневому воздействию // Archit. Eng. 2022. Т. 7. № 3. С. 44–52.

4. Линьков Н.В. Усиление деревянных конструкций с применением соединений "КМ-обклейка" / Н.В. Линьков // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 3. – С. 42-47.

5. Рощина С.И., Лукин М.В., Лукина А.В., Лисятников М.С. Повышение эксплуатационных свойств древесины, ослабленной биоповреждением, путем модификации клеевой композицией на основе эпоксидной смолы / С. И. Рощина, М. В. Лукин, А. В. Лукина, М. С. Лисятников // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 182-184

6. Лукин М.В. Повышение эффективности использования древесины в композитных деревоклееных балках / М.В. Лукин // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2010. № 5. С. 148-151.

7. Турковский С.Б. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) Под общей редакцией С.Б. Турковского и И.П. Преображенской / С. Б.

Турковский, А. А. Погорельцев, И. П. Преображенская. – Москва: риф стр, 2013. 308 с. – (НЕО- Классика). – ISBN 978-5-94026-023-3.

8. Салатов Е.К. Усиление деревянных конструкций композитными материалами / Е. К. Салатов, А.С. Багай, С.В. Белкина // Вестник Московского информационно-технологического университета - Московского архитектурно-строительного института. 2021. № 1. С. 21-24. – DOI 10.52470/2619046X\_2020\_1\_21.

9. Sergeev M. и др. Multi-span composite beam // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020.

10. Ломакин А.Д. Защита большепролетных несущих клееных деревянных конструкций / А.Д. Ломакин // Строительные материалы. 2015. № 7. С. 55-59.

11. Lukina A., Roshchina S., Griбанov A. Method for Restoring Destroyed Wooden Structures with Polymer Composites. 2021. P. 464–474.

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, УСИЛЕННЫХ СТАЛЬНОЙ ОБОЙМОЙ**

**Марченко А.В., аспирант,  
Крючков А.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Из различных методов, которые использовались для усиления железобетонных колонн в последние годы, стальные обоймы выделяются своей эффективностью [1, 2] и низкой стоимостью [3]. Несмотря на то, что метод широко используется во многих странах [4–7], на сегодняшний день он получает меньше внимания со стороны научного сообщества, чем, например, усиленные полимерными материалами.

В данной статье рассматривается планирование экспериментальных исследований прочности железобетонных цилиндров, усиленных сборной стальной обоймой. Размеры образцов для выполнения экспериментальных исследований планируются следующие: диаметр цилиндров 150 мм, высота 500 мм.

Изготовление предполагается выполнять в стальной разборной опалубке из бетона класса В35. Для приготовления бетона планируется использовать портландцемент П/А-Ш42,5Н, в качестве мелкого заполнителя мытый песок. В качестве крупного заполнителя планируется к использованию щебень, просеянный через сито 20 мм. Физические свойства заполнителей приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Свойства заполнителей**

№ п/п	Характеристики	Мелкий заполнитель	Крупный заполнитель
1.	Модуль крупности	1,7	5-20
2.	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	1750	1800

Стальной холодногнутый лист толщиной 1,6 мм, 2 мм и 2,5 мм используется в качестве внешнего армирования для цилиндров диаметром 150 мм и высотой 500 мм. Ширина исследуемых стальных полос – 15 мм и 40 мм. Свойства, стальных полос, представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Свойства стальных полос**

Толщина, мм	Предел текучести, МПа	Модуль упругости E, МПа
1.6	260	$2,01 \times 10^5$
2.0	280	$2,01 \times 10^5$
2.5	320	$2,01 \times 10^5$

Всего планируется выполнить 65 цилиндров четырех различных размеров, толщины, ширины стальных обойм.

Характеристики усиленных образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Характеристики образцов**

№ п/п	Номер цилиндра	Толщина листа обоймы (мм)	Ширина листа обоймы (мм)	Расстояние между листами обоймы (мм)
1.	A1-A5	1.6	15	Полностью покрытые, 50,100,150
2.	B1-B5	2.0	15	Полностью покрытые, 50,100,150
3.	B1-B5	2.5	15	Полностью покрытые, 50,100,150
4.	Г1-Г5	2.0	40	Полностью покрытые, 50,100,150
5.	Д1-Д5	2.0	15	Полностью покрытые, 50,100,150

Одна серия образцов, полностью закрытых обоймой, 3 серии частично закрытых обоймой и одна серия не усиленных (рис. 1).

Планируется укладка бетонной смеси в опалубку в форме цилиндра и распалубка через 24 ч с последующим выдерживанием в течении 28 сут до достижения проектного класса по прочности.

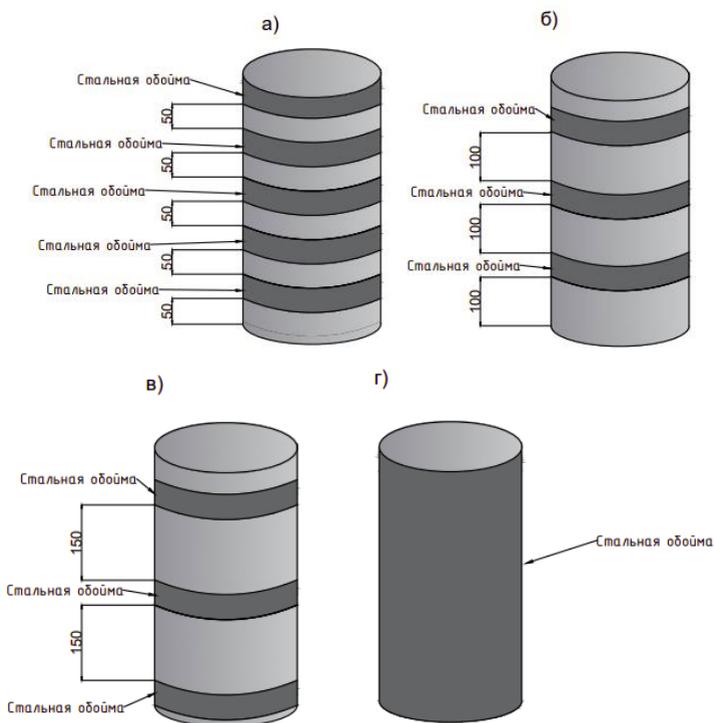


Рис. 1. Общий вид образцов с расстоянием между полосами:  
*a* – 50 мм; *б* – 100 мм; *в* – 150 мм; *г* – полностью закрытых обоймой

До начала проведения испытаний планируется создание конечноэлементной модели для определения мест установки и расположения тензорезисторов и механических приборов для фиксации деформаций.

Испытание образцов будет выполнено на компьютеризированной универсальной испытательной машине мощностью 600 кН в условиях одноосного сжатия со ступенчатым нагружением и фиксацией момента трещинообразования, мест потери устойчивости обойм (коробление), и развитие трещин вплоть до разрушения.

После выполнения испытаний на одноосное сжатие планируется установить следующие зависимости:

1. Зависимость прочности от толщины холодногнутого стального листа и расстояния между полосами стальной обоймы.

2. Повышение прочности, в зависимости от ширины обойм.
3. Предел повышения прочности в зависимости от толщины листа.

### **Библиографический список**

1. Крючков, А.А. Развитие и использование сталежелезобетонных конструкций в современных зданиях / А.А. Крючков, Е.А. Чернухина // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 18 апреля 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 77-79.

2. Issa M.S., Elzeiny S.M., Aly E.H., Metwally I.M., Investigation of reinforced concrete columns strengthened externally with steel jacket and fiber composite // Civ. Eng. Res. Mag. 2008. No 30(3). P. 831–848.

3. Жуков, А.Н. Сравнение способов усиления железобетонных консолей колонн по технико-экономическим показателям / А. Н. Жуков. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 11 (70). – С. 49-51.

4. Halil Sezen; and Mohammad Shamsai (2008): High-strength concrete columns reinforced with prefabricated cage system, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 134, No.5, P. 750-757.

5. Крючков А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы// Материалы Международных академических чтений «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения» – Курск, 2006. – С. 264-267.

6. Теряник В.В., Борисов А.О. Усиление сжатых железобетонных колонн обоями// Журнал «Жилищное строительство» – Тольятти, 2010.– №2 – С. 24-25

7. Мансур, Хасан. Анализ теоретических и экспериментальных исследований усиленных железобетонных элементов // Молодой ученый. – 2019. – № 10 (248). – С. 12-18.

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕНАПРЯГАЕМОЙ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРЫ В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.,  
Ткачев Д.В., магистрант  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В последние годы значительное внимание уделяется использованию высокопрочной арматуры в изгибаемых железобетонных элементах [1, 3]. Как правило, ее применение предусматривается в предварительно напряженных конструкциях балочного типа, чтобы уменьшить их прогибы от действующей нагрузки при относительно больших пролетах [2, 9]. Также использование высокопрочной арматуры вместо ее традиционных аналогов (например, класса А400) при одинаковом проценте армирования позволяет повысить прочность железобетонных элементов по нормальному сечению. В то же время, вопрос о целесообразности использования высокопрочной арматуры в составе ненапрягаемых железобетонных элементов каркасных зданий остается открытым. Оправдано ли ее использование без предварительного напряжения, и как это может повлиять на прочность и трещиностойкость конструкций?

При проектировании каркасных зданий необходимо учитывать множество факторов, в том числе и выбор материалов, которые будут использоваться для создания конструкций. Одним из важных факторов является выбор арматуры. Для армирования изгибаемых железобетонных конструкций, применяемых при строительстве многоэтажных каркасных зданий с относительно небольшими пролетами (до 6 м), в настоящее время чаще всего используется стальная арматура с физической площадкой текучести класса А400. Замена такой арматуры на высокопрочную (без физической площадки текучести) должна улучшить (повысить) основные характеристики железобетонных элементов, в частности, их прочность и трещиностойкость по нормальному сечению.

Для установления конкретных количественных значений указанных параметров были проведены численные исследования с использованием программы расчета «Izgib\_1», в которой реализованы алгоритмы нелинейной деформационной модели нормальных сечений, базирующейся на использовании уточненных диаграмм механического состояния арматуры и бетона [2, 4-6, 8]. Это позволяет с единых позиций выполнять расчеты железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и по деформациям.

В качестве исследуемых образцов были приняты балки прямоугольного сечения с размерами поперечного сечения  $b \times h = 25 \times 40$  см. Расчетная длина всех балок – 5,4 м. Содержание сжатой арматуры класса А240 в сечении элемента принято одинаковым для всех образцов  $\mu'_s = 0,5\%$ .

В процессе численных исследований железобетонных балок варьировали следующими исходными характеристиками:

1. Прочностью бетона (В15, В30, В50).
2. Содержанием растянутой арматуры ( $\mu_s = 1,0\%$ ;  $2,0\%$ ;  $3,0\%$ ;  $4,0\%$ ). Площадь арматуры в зависимости от процента армирования имеет следующие значения  $A_s = 8,04 \text{ см}^2$ ;  $15 \text{ см}^2$ ;  $23,76 \text{ см}^2$ ;  $28,27 \text{ см}^2$ .
3. Классами растянутой арматуры (А400; А600).

В качестве искомым расчетных параметров приняты следующие: момент трещинообразования  $M_{crc}$  и прочность сечения  $M_u$ .

Общее количество рассчитываемых образцов составило 24.

Деформативно-прочностные характеристики бетонов [6, 7] для численных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Прочностные и деформативные характеристики бетонов  
для численного эксперимента**

Класс бетона	$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$E_{bm}$ , МПа	$\varepsilon_{bR} \times 10^5$	$\varepsilon_{btR} \times 10^5$
В15	11,0	1,10	24000	169,62	8,54
В30	22,0	1,75	32500	193,17	9,51
В50	36,0	2,45	38000	216,07	10,72

Значения соответствующих опорных точек для описания уточненных диаграмм деформирования арматурных сталей [5] классов А240, А400 и А600 представлены в табл. 2, где приняты следующие обозначения:  $\beta_{el}$  – расчетный предел упругости;  $\sigma_y$  ( $\sigma_{0,2}$ ) – физический (условный) предел текучести;  $\sigma_u$  – временное сопротивление разрыву;  $\lambda_y$  – длина физической площадки текучести;  $\sigma_{0,5}$  – напряжение, при котором остаточная деформация в высокопрочной арматуре составляет  $0,5\%$ ;  $\delta_u$  – полное удлинение перед разрывом.

Таблица 2

**Значения опорных точек для диаграмм деформирования  
арматуры классов А240, А400 и А600**

Класс арматуры	$\beta_{el}$	$\sigma_y$ ( $\sigma_{0,2}$ ), МПа	$\sigma_u$ , МПа	$\lambda_y$ , %	$\sigma_{0,5}$ , МПа	$E_s$ , МПа	$\delta_u$ , %
А240	0,97	240	380	2,0	-	200000	25,0
А400	0,95	400	600	0,8	-	200000	16,0
А600	0,4	600	900	-	710	200000	2,0

Все необходимые исходные данные для каждого образца и полученные в процессе численного эксперимента результаты расчетов для удобства анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Исходные данные и результаты расчетов исследуемых железобетонных элементов**

Номер образца	Класс бетона	Класс арматуры	$A_{st}, \text{см}^2$	$M_{срс}, \text{кН}\cdot\text{м}$	$M_u, \text{кН}\cdot\text{м}$	
1	B15	A400	8,04	21,16	104,20	
		A600		21,16	141,84	
2	B30	A400		30,66	129,46	
		A600		30,66	187,11	
3	B50	A400		40,66	144,80	
		A600		40,66	222,35	
4	B15	A400		10,18	26,03	167,40
		A600			26,03	171,79
5	B30	A400			36,14	190,23
		A600			36,14	256,86
6	B50	A400			46,82	224,91
		A600			46,82	321,10
7	B15	A400	30,18		31,92	185,73
		A600			31,92	185,40
8	B30	A400			42,86	272,57
		A600			42,86	300,19
9	B50	A400			54,40	298,30
		A600			54,40	403,75
10	B15	A400		50,24	34,85	189,15
		A600			34,85	189,11
11	B30	A400			46,25	305,39
		A600			46,25	312,69
12	B50	A400			58,24	343,95
		A600			58,24	432,64

Выполненные в ходе численных исследований расчеты позволили выявить влияние различных факторов на прочность и трещиностойкость рассматриваемых железобетонных балок и установить при этом следующие закономерности:

- увеличение класса бетона при разных процентах армирования растянутой зоны сечения элемента приводит к неодинаковой степени роста предельных изгибающих моментов  $M_u$ . В перearмированных балках (3–4 %) прирост несущей способности значительно выше, чем у образцов с обычной степенью армирования (1–2 %);
- повышение прочности бетона при других неизменных параметрах способствует росту момента трещинообразования сечения  $M_{срс}$ . При этом наибольший эффект достигается при меньшем проценте армирования растянутой зоны (в 1,45-1,92 раза),

а при перearмированном сечении эффект несколько меньше (в 1,33-1,67 раза);

- прочность растянутой арматуры практически не влияет на трещиностойкость сечений железобетонных элементов при любых классах бетона и проценте армирования;

- прочность арматуры и, в особенности, ее тип (высокопрочная) оказывают влияние на прочность нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов. При этом, чем выше класс бетона по прочности на сжатие, тем больше величина  $M_u$ . Однако с повышением процента армирования этот эффект уменьшается и для малопрочных бетонов становится несущественным. Для рассмотренных в численных исследованиях классов бетона и процентов армирования прочность малоармированных сечений увеличивается в 1,36-1,54 раза при использовании арматуры класса А600 вместо А400, но при перearмированных сечениях этот рост уменьшается до величин 1,0-1,26 раза. При этом меньшие значения указанных диапазонов роста прочности относятся к бетону класса В15, а наибольшие – к бетону В50;

- проведенными численными исследованиями прочности и трещиностойкости железобетонных балок с учетом использования в растянутой зоне высокопрочной арматуры класса А600 вместо А400 установлено, что для рассмотренных образцов рациональный диапазон их процента армирования составляет от 1,5 до 2,0 % при классах бетона В30-В50.

На основании представленных здесь результатов исследований можно также установить, что в некоторых случаях использование обычной арматуры в составе железобетонных изгибаемых элементов является более экономичным и эффективным. Например, при строительстве малоэтажных жилых зданий с небольшими пролетами, где действующие нагрузки не так высоки.

Хотя использование высокопрочной арматуры имеет множество преимуществ, есть и некоторые потенциальные минусы при ее использовании.

Один из минусов заключается в том, что высокопрочная арматура обычно более дорогая, чем обычная арматура. Это увеличивает стоимость строительства. Однако, если использование высокопрочной арматуры позволяет снизить количество необходимых арматурных стержней, это может скоррелировать затраты на строительство и эксплуатацию объекта недвижимости.

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что использование высокопрочной стальной арматуры в ненапрягаемых железобетонных элементах каркасных зданий имеет ряд преимуществ и может быть

целесообразным в зависимости от конкретных условий строительства. Однако, выбор арматуры должен осуществляться на основе тщательного анализа технических и экономических факторов проекта.

### **Библиографический список**

1. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. – 2002.– № 2.– С. 21-25.
2. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и по деформациям. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 352 с.
3. Колмогоров А.Г., Плевков В.С. Расчет железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 496 с.
4. Немировский Ю.В., Болтаев А.И. Диаграммы деформирования бетонов и железобетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 125-129.
5. Никулин А.И. Универсальная зависимость для аналитического описания диаграмм растяжения арматурной стали // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 157-162.
6. Никулин А.И. Энергетический подход к трансформированию эталонных диаграмм сжатия бетона // Бетон и железобетон. – 2013. – № 5. – С. 12-14.
7. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения трансформированных диаграмм сжатия бетона // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – С. 161-168.
8. Никулина Ю.А., Пирко С.И., Кочерженко В.В. Особенности применения нелинейной и упрощенной деформационных расчетных моделей для определения прочности изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства) сборник докладов международной научно-практической конференции: в 2-х томах. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – Т. 1. – 2017. – С. 82-89
9. Портаев Д.В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий. – М.: АСВ, – 2011. – С. 248.

# ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ БЕТОНА С ДОБАВЛЕНИЕМ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Обернихин Д.В., канд. техн. наук, доц.,  
Мещеряков В.М., аспирант

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Обеспечение эффективной работы изгибаемых конструкций при эксплуатации их в агрессивных средах связано не только с задачей разработки и получения материалов более высокой прочности и коррозионной стойкости, но и композитов повышенной трещиностойкости, поскольку сопротивление конструкционных материалов разрушению в большей степени определяется способностью их структуры препятствовать образованию и росту трещин.

Для конструкций, эксплуатирующихся в условиях химического воздействия, вопрос трещиностойкости является особенно важным, так как при раскрытии трещин агрессивная среда, проникая вглубь сечения, вызывает коррозию арматуры, что ведет к значительному ухудшению несущей способности элемента в целом.

Важную роль в решении этих вопросов занимают конструкции, созданные с использованием коррозионностойких материалов: композитной арматуры и полимербетонов [1].

В практике строительства широкое применение уже получили полимербетоны на основе синтетических вяжущих [2-6]. Однако промышленное производство этих вяжущих в Российской Федерации за последние годы резко сократилось, или оказалось полностью за пределами государства (фурановые смолы), в результате чего стоимость их резко возросла и приблизилась к мировым ценам.

В этой ситуации для решения вопросов, связанных с защитой строительных конструкций от агрессивного воздействия среды, возможно применение в производстве альтернативных видов промышленно выпускаемых полимерных добавок. Возможно использование железобетонных конструкций из полимернаполненных бетонов [7], содержащих кроме минеральных наполнителей и заполнителей полимерные наполнители, например, резиновую крошку.

Резиновую крошку уже широко используют как покрытие спортивных и детских площадок, заполнитель в асфальтобетонах, при производстве различных рулонных материалов и битумных мастик. Создание на основе бетона с добавлением резиновой крошки,

композиционных материалов нового поколения, обладающих высокой химической стойкостью, трещиностойкостью, прочностью и другими благоприятными эксплуатационными свойствами, является перспективным направлением при решении вопросов, связанных с защитой строительных конструкций от агрессивных сред [7, 8].

Кроме того, введение в бетонную смесь резиновой крошки, полученной в результате переработки техногенных отходов, помогает решить и экологическую проблему, связанную с утилизацией изношенных автомобильных покрышек. При этом создание надежных и эффективно работающих изгибаемых элементов невозможно без изучения напряженно-деформированного состояния, возникающего при воздействии усилий различного рода.

Основываясь на вышеизложенном, было принято решение изучить возможность использования бетона с добавлением резиновой крошки для проектирования изгибаемых железобетонных элементов. Предполагается, что изготовление железобетонных конструкций из бетона с применением резиновой крошки в качестве заполнителя в различной пропорции приводит к улучшению их трещиностойкости и стойкости к воздействию агрессивных сред. В данный момент отсутствуют рекомендации по проектированию изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки.

Авторами планируется проведение экспериментальных исследований прочности, трещиностойкости нормальных сечений и прогибов железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки с последующей разработкой рекомендаций по расчету железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки.

Достижение поставленной цели планируется путем решения следующих задач:

- получить экспериментальные данные о прочности, трещиностойкости нормальных сечений и деформативности железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки при поперечном изгибе под воздействием нагрузок;

- выполнить сравнительный анализ работы железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки и железобетонных изгибаемых элементов из тяжелых бетонов;

- адаптировать применительно к железобетонным изгибаемым элементам из бетона с добавлением резиновой крошки существующие способы расчета прочности и трещиностойкости;

- дать рекомендации по применению железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки в массовом строительном производстве.

Для выполнения перечисленных задач планируется провести экспериментальные исследования, в которых на первом этапе будут определены особенности работы изгибаемых конструкций из бетона с заменой 5 % общего объема мелкого заполнителя резиновой крошкой, а также получению данных по их прочности, трещиностойкости и деформативности. На втором этапе планируется заменить 15% объема мелкого заполнителя в бетоне резиновой крошкой. Кроме того, будут испытаны изгибаемые элементы из тяжелого бетона для определения и анализа аналогичных характеристик.

Балки будут испытаны двумя симметрично приложенными силами в третях пролета, что соответствует методике испытания на чистый изгиб. При таком приложении нагрузки значение изгибающего момента, возникающего в балке, возрастает от нуля на опоре до максимальной величины под точкой приложения нагрузки. Между точками приложения нагрузки поперечная сила равна нулю, а значение изгибающего момента постоянно и равно максимальному значению – зона чистого изгиба.

Варьируемым параметром в эксперименте принят процент замены в бетонной смеси общего объема мелкого заполнителя резиновой крошкой. Функцией отклика является прочность, трещиностойкость нормальных сечений изгибаемых элементов, а также их деформативность. Граничные условия участка варьирования экспериментальных параметром в планируемом исследовании установлены на основе проведенного анализа литературных источников, исследования структурных характеристик бетона с добавлением резиновой крошки в которых показали, что при более высоком (более 20 %) содержании резиновой крошки в образцах показатель пространственной неоднородности постепенно увеличивается. Это связано с тем, что большее количество более грубых резиновых гранул вызывает неравномерное распределение пор и капилляров [9-13].

Проведение экспериментальных исследований позволит выявить достоверную картину напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки, получить данные о прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки в сравнении с данными аналогичных элементов из тяжелого железобетона и разработать (адаптировать) способы расчета железобетонных изгибаемых элементов из бетона с добавлением резиновой крошки для их внедрения в массовое строительное производство, что является в настоящий момент актуальной проблемой в современной строительной индустрии.

### Библиографический список

1. Фролов Н.В., Обернихин Д.В., Никулин А.И., Лапшин Р.Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2015. №3. С. 18-21.
2. Корнеев, А.Д. Эпоксидные полимербетоны / А.Д. Корнеев, Ю.Б. Потапов, В.И. Соломатов. – Липецк: ЛГТУ, 2001. – 181 с.
3. Мощанский, Н.А. Конструктивные и химически стойкие полимербетоны / Н.А. Мощанский, В.В. Патуров. – М.: Стройиздат, 1970. – 194 с.
4. Харчевников, В.И. Стекловолокнистые полимербетоны – коррозионностойкие материалы для конструкций химических производств: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Виталий Иванович Харчевников. – Воронеж, 1982. – 424 с.
5. Левченко, А.В. Прочность и трещиностойкость нормальных сечений армокаутоновых балок: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Артем Владимирович Левченко. – Воронеж, 2021. – 240 с.
6. Давыдов, С.С. Сталеполимербетонные строительные конструкции / С.С. Давыдов, А.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1972. – 280 с.
7. Патуров, В.В. Полимербетоны / В.В. Патуров. – М.: Стройиздат, 1987. – 287 с.
8. Панкова, Т.А. К вопросу о применении новых видов бетонов / Т.А. Панкова, А.Г. Хазова // Международная научно-практическая конференция «Культурно - историческое наследие: вчера, сегодня, завтра». – Саратов, 2014. – С. 109-111.
9. Giedrius Girskas, Dzigitė Nagrockienė. Crushed rubber waste impact of concrete basic properties // Construction and Building Materials. 2017. No. 140, pp. 36–42.
10. Де Шуттер, Г. Самоуплотняющийся бетон – путь в будущее / Г. Де Шуттер // СРІ. Международное бетонное производство. – 2013. – № 3. – С. 40-45.
11. Russell, K.G. Application of high-strength concrete in North America / K.G. Russell // George C. Hoff Symposium on High-Performance concrete and concrete for marine environment. – Las Vegas. USA, 2004. – Pp. 1-16.
12. Reda Taha M.M., Asce M., El-Dieb A.S., Abd El-Wahab M.A., Abdel-Nameed M.E. Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete // Journal of Materials in Civil Engineering. 2008. No. 20, pp. 640–649.
13. Pedro D., De Brito J., Veiga R. Mortars made with fine granulate from shredded tires // Journal of Materials in Civil Engineering. 2013. No. 25, pp. 519–529.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НДС МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ, ВОЗВЕДЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ РАННЕГО РАСПАЛУБЛИВАНИЯ**

**Обернихин Д.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Мигулина А.А., студент.**

**Обернихин Е.В., магистрант**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Компания Peri разработала систему опалубки перекрытия Duo, позволяющую производить раннее распалубливание [1, 2]. Система состоит из опорных стоек, плит и дополнительных элементов в виде балок, которые опираются на стойки и являются промежуточным элементом между плитами опалубки. При наборе бетоном определенной прочности возможно частичное раннее распалубливание конструкций путем удаления опалубочных плит для их дальнейшего использования [5].

С целью исследования параметров НДС монолитных плит перекрытий при различных конструктивных схемах расположения балок опалубки, а также влияния времени твердения бетонной смеси предусмотрены численные исследования.

Задачи исследования:

- определить возможность использования технологии раннего распалубливания применительно к безригельному монолитному каркасу;
- изучить влияние различного возраста бетона на НДС при распалубливании монолитных плит;
- провести анализ распределения напряжений в бетоне не проектной прочности;
- выполнить численное моделирование «простого» монолитного перекрытия в программном комплексе Лира-САПР с последующим анализом полученных результатов.

В рамках данной работы проводится исследование параметров НДС монолитной железобетонной плиты, опертой на железобетонные колонны с шагом 6 м в продольном и поперечном направлении в рамках безбалочного перекрытия.

Участок каркаса запроектирован программном комплексе Лира-САПР. Размер ячейки сетки триангуляции составляет 200 мм. В местах примыкания колонны и плиты выполнены АЖТ. Колонны приставлены в виде стержней «половинчатой» высоты, закрепленные шарнирно неподвижными опорами. Длина исследуемого участка составляет 18 м, ширина – 12 м. Монолитные стены и диафрагмы жесткости отсутствуют. Высота колонн в расчетной схеме составляет 1,5 м с каждой стороны (рис. 1).

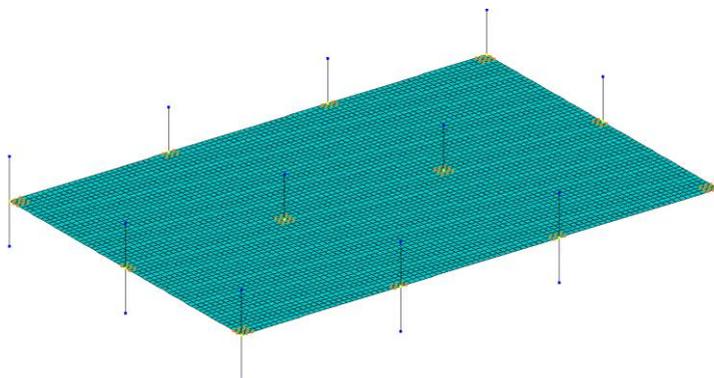


Рис. 1. Исходная расчетная схема участка каркаса

В исследовании использовался бетон класса В20 с В/Ц 0,7. Результаты определения расчетного сопротивления бетона разных возрастов приведены в табл. 1. На основании методики, приведенной в работе [4], получены различные соотношения  $R_n/R_{28}$  – прочности бетона при возрасте  $n$  к прочности бетона на 28 сутки при нормальных условиях твердения (рис. 2).

Таблица 1

**Расчетное сопротивление бетона разных возрастов**

Класс бетона В20	Возраст, сут			
	3	5	7	28
$R_b$	3,795 МПа	5,41 МПа	6,67 МПа	11,5 МПа
$R_{bn}$	4,95 МПа	7,05 МПа	8,7 МПа	15 МПа
$R_{bt}$	0,297 МПа	0,423 МПа	0,522 МПа	0,9 МПа
$R_{btn}$	0,446 МПа	0,635 МПа	0,783 МПа	1,35 МПа

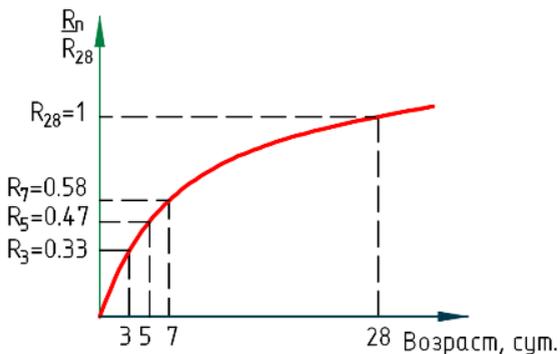


Рис. 2. График набора прочности бетона В20 при В/Ц 0,7

Для предварительного определения армирования плиты перекрытия произведен упрощенный сбор нагрузки, в котором учтен собственный вес конструкций (определяется автоматически), вес полов и полезная нагрузка на перекрытия.

В качестве продольного армирования принята арматура класса А400. Характеристики арматуры приняты по СП «Железобетонные конструкции» [3].

По результатам расчета плиты перекрытия с проектной прочностью бетона класса В20 в качестве продольной и поперечной арматуры принята арматура класса А400 диаметром 12 мм с шагом 200 мм. В верхней части плиты принято фоновое армирование арматурой диаметром 10 мм шагом 200 мм, а места перераспределения момента над колонной дополнительно усилены арматурой 18 мм шагом 200 мм.

Для анализа НДС исследуемой конструкции будем варьировать следующими параметрами:

- возраст бетонной смеси;
- шаг главных («оставляемых») балок опалубки.

Общее число исследуемых образцов составляет 9 шт – 3 серии плит по 3 типа в каждой серии:

- плиты без системы раннего распалубливания П\_3, П\_5, П\_7 соответственно для бетона возрастом 3, 5 и 7 сут;
- плиты с шагом сохраняемых балок 2 м – П2м\_3, П2м\_5, П2м\_7 для бетона возрастом 3, 5 и 7 сут соответственно;
- плиты с шагом сохраняемых балок 3 м – П3м\_3, П3м\_5, П3м\_7 для бетона возрастом 3, 5 и 7 сут соответственно.

Примеры результатов распределения изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$  для плит с возрастом бетона 7 суток без системы раннего распалубливания и с шагом сохраняемых балок 3 м приведенные на рис. 3 и 4.

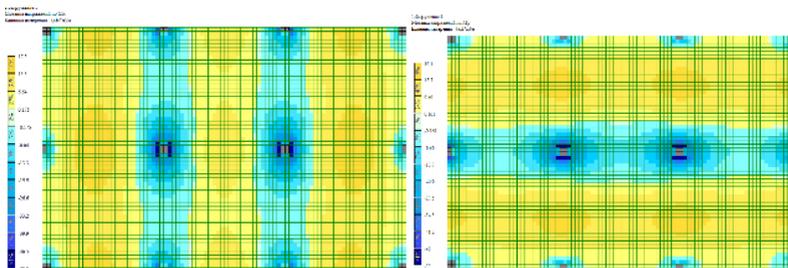


Рис. 3. Изополя распределения моментов  $M_x$  и  $M_y$  для серии П\_7

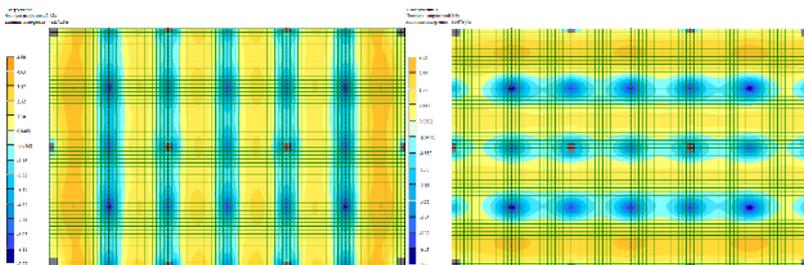


Рис.4. Изополя распределения моментов  $M_x$  и  $M_y$  для серии ПЗМ\_7

Для дальнейшего анализа результатов были определены моменты трещинообразования и предельные изгибающие моменты на опорах ( $M_{оп}$ ) для участка плиты шириной 1 м плиты разного возраста бетона. Расчет произведен по методу предельного равновесия [3] с использованием расчетных характеристик бетона. Результаты расчета опорных моментов приведены на (рис. 5) и сведены в (табл. 2).

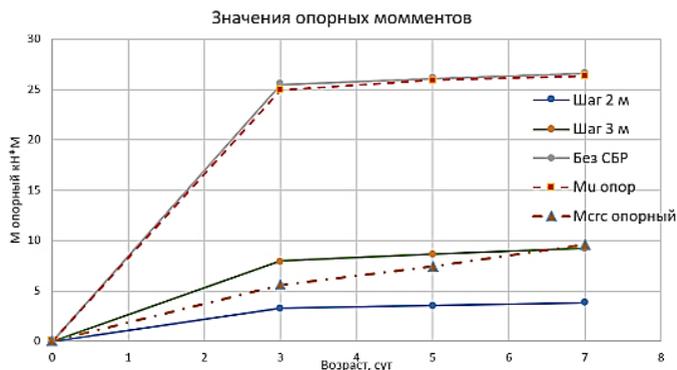


Рис.5. Значения опорных моментов

Таблица 2

**Значения предельных и расчетных моментов на опоре плиты и моментов трещинообразования**

	Марка	$M_{u,оп}$	$M_{срс,опор}$	$M_{опор.}$
1	П 3	24,967	5,584	25,5
2	П2М 3			3,26
3	ПЗМ 3			7,96
4	П 5	25,92	7,412	26,1
5	П2М 5			3,55
6	ПЗМ 5			8,65
7	П 7	26,355	9,603	26,6
8	П2М 7			3,81
9	ПЗМ 7			9,27

По результатам расчета можно сделать следующие выводы:

– для всех плит, возведенных по методу быстрого распалубливания, значения максимальных моментов на опоре в несколько раз меньше, чем предельный изгибающий момент;

– для плит возрастом 3 сут значения максимальных моментов на опорах составляют 3,26 кН·м, 7,96 кН·м, что на 87 % и 68 % ниже предельного (24,967 кН·м) для плит с шагом главных балок 2 м и 3 м соответственно;

– для плит возрастом 5 сут значения максимальных моментов на опорах составляют 3,5 кН·м, 8,65 кН·м, что на 86 % и 67 % ниже предельного (25,92 кН·м) для плит с шагом главных балок 2 м и 3 м соответственно;

– для плит возрастом 7 сут значения максимальных моментов на опорах составляют 3,81 кН·м, 9,27 кН·м, что на 85,5 % и 65 % ниже предельного (26,355 кН·м) для плит с шагом главных балок 2 м и 3 м соответственно;

– изгибающие моменты над опорами (колоннами) в плитах, возведенных без системы быстрого распалубливания, превышают предельные и составляют 25,5 кН·м, 26,1 кН·м и 26,6 кН·м соответственно на 3, 5 и 7 сут выдержки бетона, а разрушающие 24,97 кН·м, 25,92 кН·м и 26,36 кН·м.

– значения изгибающих моментов над опорами в плитах с шагом 3 м на 3 и 5 сутки составляют 7,96 кН·м и 8,65 кН·м, что на 28,7 % и 9,5 % выше соответствующих моментов трещинообразования (6,18 кН·м и 7,9 кН·м);

– опорные моменты плит без использования системы быстрого распалубливания на всех этапах превышают предельные значения.

Таким образом, из всех рассмотренных вариантов плит наиболее перспективными оказались плиты марки П2М\_3 и П2М\_5 (шаг балок 2 м и 3 м). Использование шага главных балок опалубки 2 м позволяет произвести опалубку данных плит уже на 3 сут в то время как при шаге 3 м распалубку можно производить только на 7 сут. В плитах с системой быстрого распалубливания определяющим оказался момент трещинообразования.

### Библиографический список

1. Peri-академия [Электронный ресурс] / URL: <https://academy.peri.ru/my-account> (дата обращения 15.03.2023 г.)
2. Анпилов С.М. Опалубочные системы для монолитного строительства: учебное издание. – М.: Издательство АСВ. 2005. – 280 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции.

Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: Стандартиформ, 2019. – 124 с.

4. Баженов Ю.М. Технология бетона / Учебник. – М.: Изд-во АСВ. 2011. – 528 с.

5. Мочалова, А.О. Основные преимущества и недостатки строительства зданий из монолитного железобетона / А. О. Мочалова // Образование. Наука. Производство: сборник докладов XIV Международного молодежного форума. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 90-93.

## **АНАЛИЗ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ РАЗЛИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

**Обернихин Д.В.**, канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород Россия*

Как показывает практика строительства, большинство железобетонных конструкций эксплуатируются в стадии, наступающей после образования трещин. Поэтому естественным является стремление изучить напряженно-деформированное состояние в окрестности трещины.

Вопросу изучения трещинообразования в железобетонных конструкциях посвящено немало научных работ отечественных и зарубежных ученых [1, 4-12]. В предыдущих работах [5, 6] были рассмотрены вопросы прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного и других сечений. В данной статье рассмотрен сопоставительный анализ экспериментальных данных таких элементов.

В актуальных отечественных нормативных документах расчет ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных элементах может оказаться превалирующим даже при подборе рабочей продольной арматуры. Этот факт вызывает необходимость более глубокого исследования затронутого вопроса, в том числе и применительно к конструкциям различного поперечного сечения, например, трапециевидного. Такая форма сечения заметно сдерживает раскрытие трещин в железобетонных конструкциях.

В качестве исследуемых образцов выступали 2 серии балок: прямоугольного (ОП) и трапециевидного (ОТр) поперечного сечения. Пролет всех элементов составлял 1100 мм. В роли продольной рабочей

арматуры использовались арматурные стержни диаметром 12 мм класса А500. Все образцы были выполнены из тяжелого бетона. Габаритные размеры всех балок одинаковы и составляют 120×140 мм. Геометрические размеры опытных образцов приведены на рис. 1.

Испытание образцов проводилось на универсальной испытательной установке принцип действия которой приведен в работе [6].

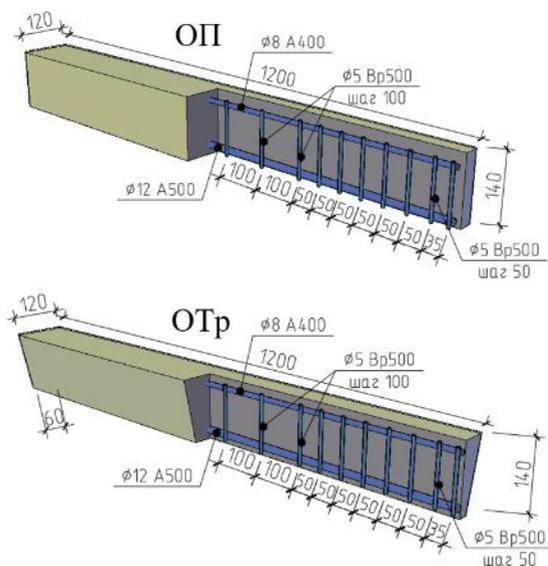


Рис. 1. Геометрические размеры образцов ОП и ОТр

В пределах каждой серии, для определения физико-механических характеристик бетона, были изготовлены 4 стандартных образца размером 100×100×100 мм и 3 образца 100×100×400 мм. Количество вспомогательных образцов, а также методика их испытания принимались согласно [2]. Характеристики бетона и арматуры приведены в табл. 1.

Методика проведения экспериментального исследования описана в работе [6]. Весь эксперимент был разбит на три этапа:

- исследование контрольных образцов;
- подготовка экспериментальных образцов к испытанию;
- испытание экспериментальных образцов.

Таблица 1

Характеристики бетона и арматуры		
Характеристики бетона		
Характеристика образцов бетона	ОП	ОТр
Предельное сопротивление центральному сжатию $R_b$ , МПа	20,35	20,70
Нормативный модуль упругости при сжатии $E_{bn}$ , МПа	31500	31500
Предельное сопротивление центральному растяжению $R_{bt}$ , МПа	1,53	1,68
Характеристики арматуры		
Класс арматуры	$\sigma_y$ , МПа	$\sigma_{ll}$ , МПа
A500с	591,75	668,56
A400	619,72	708,92

В рамках подготовки к испытанию проводился визуальный осмотр экспериментальных образцов на наличие дефектов, после чего определялись фактические размеры и реальный вес балки. Вес балок учитывался в дальнейшем при расчете нагрузки. На образцы устанавливались все необходимые приборы с последующей их выверкой, после чего на грани балки наносилась побелка.

Нагружение проводилось поэтапно с шагом нагрузки 5 % от предполагаемой разрушающей до появления первой трещины, и 10% после. На каждом этапе нагрузка выдерживалась 15 мин, после чего увеличивалась. Ширина раскрытия трещин определялась на каждом этапе после появления первой трещины. Для этого использовался лабораторный микроскоп МПБ-100 с дополнительной видеофиксацией рис. 2.

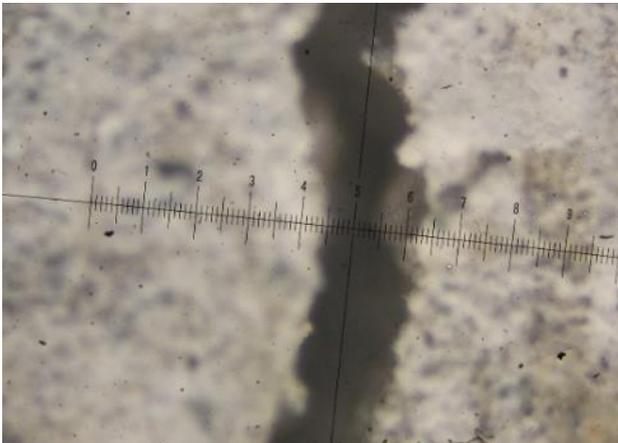


Рис. 2. Определение ширины раскрытия трещин

В ходе исследования было испытано 6 экспериментальных балок по три образца каждого вида (ОП, ОТр). Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Ширина раскрытия трещин

Образец	Нагрузка трещинообразования $P_{срс}$ , кН	Средняя нагрузка $P^{ср}_{срс}$ , кН	Ширина раскрытия трещины $a_{срс}$ , при нагрузке $P$ кН			
			12	20	28	32
1	2	3	4	5	6	7
ОП - 1	7,825	7,44	0,08	0,14	0,23	0,30
ОП - 2	7,415		0,11	0,18	0,25	0,31
ОП - 3	7,080		0,04	0,20	0,29	0,32
ОТр - 1	5,350	5,037	-	0,12	0,17	0,22
ОТр - 2	4,911		0,06	0,13	0,18	0,20
ОТр - 3	4,850		0,06	0,11	0,18	0,24

Как видно из полученных результатов, наиболее высокая нагрузка трещинообразования оказалась у балок прямоугольного поперечного сечения и составила в среднем 7,44 кН.

В трапециевидных балках средняя нагрузка трещинообразования составила 5,037 кН, что на 32% ниже, чем у балок прямоугольного сечения.

При нагрузке 12 кН средняя ширина раскрытия трещин в балках серии ОП и ОТр составила соответственно 0,077 мм и 0,06 мм. Следует отметить, что в образце ОТр -1 при нагрузке 12 кН трещины еще не появились.

Как известно из п. 8.2.6 СП 63.13330 [88] в конструкциях, где возможно образование трещин, ширина их раскрытия ограничивается в зависимости от длительности нагрузки и используемой арматуры. Так при продолжительном действии нагрузки и использовании арматуры класса А500 предельное значение ширины раскрытия составляет 0,3 мм.

Из табл. 2 видно, что наименьшая нагрузка, при которой ширина раскрытия трещин составила 0,3 мм оказалось у образцов серии ОП и составила  $P_{0,3} = 32$  кН. У балок серии ОТр эта нагрузка находилась оказалась выше 32 кН. Это объясняется тем, что в балках серии ОТр общее количество трещин по длине балки на поздних этапах было выше, чем в балках серии ОП.

В балках серий ОП с повышением нагрузки увеличивалась ширина раскрытия трещин, в балках ОТр процесс трещинообразования продолжался без существенного роста ширины раскрытия существующих трещин.

Показано, что при одинаковых габаритных размерах, армировании

и сопоставимой прочности бетона средняя нагрузка трещинообразования у образцов прямоугольного сечения оказалась на 32% выше, чем у балок трапецевидного сечения.

Установлено, что наименьшая нагрузка, при которой величина раскрытия трещин достигает предельного значения 0,3 мм, оказалась у балок серии ОП и составила порядка  $P_{0,3} = 32$  кН, в то время как для балок серии ОТр средняя ширина раскрытия трещин при данной нагрузке составляет 0,22мм.

Показано влияние характера образования трещин и их количества на ширину раскрытия трещин на этапах, близких к предельному.

### **Библиографический список**

1. Бобров, В.В. Оценка влияния формы и размеров железобетонных конструкций на уровень микротрещинообразования бетона / В.В. Бобров // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 26-29.

2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2013. 30 с.

3. ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с

4. Залесов, А.С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформативности / А.С. Залесов. М.: Книга по требованию, 2012. 320 с.

5. Никулин, А.И. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов трапецевидного сечения с трещинами в растянутой зоне / А.И. Никулин, Д.В. Обернихин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 88-93.

6. Никулин, А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений / А.И. Никулин, Д.В. Обернихин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56-59.

7. Смоляго, Г.А. Оценка уровня конструктивной безопасности железобетонных конструкций по трещиностойкости / Г.А. Смоляго // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 4. С. 62-63.

8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: «Стандартинформ», 2019. 124 с.

9. Тамразян, А.Г. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами / А.Г. Тамразян, М.А. Орлова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6

(53). С. 98-105.

10. Федоров, В.С. Методика расчета ширины раскрытия трещин в железобетонных внецентренно сжатых конструкциях с учетом эффекта нарушения сплошности / В.С. Федоров, Е.В. Шавыкина, Вл.И. Колчунов // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 1. С. 8–11.

11. Fantilli, A.P. Flexural Deformability of Reinforced Concrete Beams / A. P. Fantilli, D. Ferretti, I. Iori, P. Vallini // Journal of Structural Engineering. 1998. Vol. 124. Issue 9. Pp. 1041-1049.

12. Lu, W.Y. Deflection prediction for reinforced concrete deep beams / W.Y. Lu, S.J. Hwang, I.J. LIN // Computers and concrete. 2010. Vol. 7(1). Pp. 1-16.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ УСИЛЕНИЯ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВНЕШНЕ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ**

**Обернихина Я.Л., ст. преп.,  
Воронкова А.Ю., студент,  
Кугоманов Д.Е., студент,  
Шляпкин А.Ф., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Актуальность темы исследования влияния усиления железобетонных балок полимеркомпозитными материалами на основе волокон углепластика обусловлена значительным объемом работ по восстановлению и усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений, в состоянии близком к предельному или имеющих трещины и прогибы. Композитные материалы, армированные волокнами – относительно новые материалы в строительстве. Инженеры обратили на них внимание в конце XX в., ввиду уникальных механических свойств. Системы усиления на основе различных волокон оказались продуктивными для обеспечения прочности конструкций.

Среди различных видов полимеркомпозитных материалов, системы усиления на основе углеродных волокон оказались наиболее конкурентноспособными. Их использование позволяет обеспечить надежность и долговечность поврежденных конструкций зданий и сооружений. На сегодняшний день это самый «бережный» способ усиления, не требующий особых трудовых затрат и позволяющий не только добиться увеличения прочности железобетонных элементов, но и избежать их дальнейшей коррозии.

Несмотря на то, что усиление углепластиками довольно распространено в строительстве, по-прежнему актуальна задача накопления экспериментальных данных, необходимых для дальнейшего изучения методики и ее совершенствования. Ввиду ограниченного количества испытуемых образцов и переменных параметров экспериментальных исследований достаточно сложно всесторонне оценить влияние уровня предварительной нагрузки на несущую способность железобетонных балок, усиленных углепластиком.

Авторами [1] были проведены испытания 25 железобетонных балок, усиленных углепластиком под нагрузкой. В результате испытаний было выявлено, что усиление изгибаемых элементов под нагрузкой внешним армированием композитами на основе углеволокна, значительно повышает их прочностные характеристики.

Кроме того, на основе полученных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что уровень предварительной нагрузки не влияет на предельную разрушающую нагрузку усиленных балок только в том случае, если предварительная нагрузка не превышает 80 % от разрушающей. Таким образом, влиянием уровня предварительной нагрузки можно при расчете железобетонных изгибаемых элементов, усиленных углепластиком, можно пренебречь.

В работе [2] представлены результаты испытания 6 железобетонных балок, усиленных под нагрузкой полимеркомпозитными материалами на основе углеродных волокон. Внешнее армирование железобетонных балок полимеркомпозитными материалами на основе углеродных волокон повышает несущую способность балок, усиленных под нагрузкой на 22,5-41,2 %.

Кроме того, в рамках исследования было изучено влияние уровня нагружения в момент усиления на предельную прочность образцов. Так, при одинаковом уровне нагрузки в момент усиления, предельная прочность балок была практически одинакова, независимо от истории нагружения.

При этом, нагрузка усиления является важным фактором, влияющим на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов [3]. В данном случае наблюдается обратная зависимость. То есть, прочность образцов, усиленных углепластиком тем выше, чем ниже нагрузка усиления.

В работе [4] представлены результаты исследования влияния уровня предварительного нагружения на несущую способность изгибаемых элементов, усиленных углеволокном. В рамках эксперимента проведены испытания 3 железобетонных балок,

предварительно нагруженных, а затем полностью разгруженных и усиленных. Результаты экспериментов показали, несущая способность образцов после усиления увеличилась на 83 %, 56 % и 48 % при уровне предварительного нагружения 35 %, 66 % и 100 % от предельной расчетной нагрузки соответственно.

Прочность и деформативность всех усиленных образцов увеличилась, в сравнении с эталонными образцами. На основании представленного выше обзора экспериментальных исследований можно сделать вывод о достаточной эффективности метода усиления железобетонных балок углепластиком под нагрузкой. В случае, если начальная нагрузка в момент усиления одинакова, несущая способность железобетонных балок, усиленных углепластиком, практически одинакова. То есть влияние истории нагружения на несущую способность внешне армированных образцов несущественно. Однако однозначного ответа на вопрос о влиянии уровня нагрузки усиления, а также истории нагружения на напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных элементов, внешне армированных углепластиком, дать нельзя, т.к. представлено недостаточно опытных данных для корректной оценки деформативности и трещиностойкости усиленных образцов.

Несмотря на то, что за рубежом имеется обширный опыт использования данной технологии усиления, в нашей стране объем исследования в этой области незначительный. Изучены лишь отдельные факторы. Поэтому в России отсутствуют рекомендации по расчету и конструированию железобетонных конструкций, усиленных углепластиками под нагрузкой, особенно с учетом истории нагружений.

### **Библиографический список**

1. Ashour A.F., El-Refaie S.A., Garrity S.W.. Flexural strengthening of RC continuous beams using CFRP laminates. *Cement & Concrete Composites*. 2004. No 26. pp.765-775.
2. Guibing Li, Aihui Zhang, Yugang Guo. Effect of Preload Level on Flexural Load-carrying Capacity of RC Beams Strengthened by Externally Bonded FRP Sheets. *The Open Civil Engineering Journal*, 2015, No 9. pp.426-434.
3. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-deformativnost-izgibaemyh-zhelezobetonnih-elementov-usilennyh-ugleplastikom> (дата обращения: 27.03.2023).

4. Nikola Basa, Mladen Ulicevic, Radomir Zejak. Experimental Research of Continuous Concrete Beams with GFRP Reinforcement. Advances in Civil Engineering., Vol. 2018. 16 p.

5. Fayyadh M.M., Razak H. Abdul. Assessment of effectiveness of CFRP repaired RC beams under different damage levels based on flexural stiffness. Constr. Build. Mater., 2012. vol. 37, pp. 125-134,

6. Norris T., Saadatmanesh H., and Ehsani M. R., "Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets," ASCE. J. Struct. Eng., 1997. vol. 123, pp. 903-11,

7. M. Arduini and A. Nanni, "Behavior of precracked RC beams strengthened with carbon FRP sheets," J. Compos. Constr., 1997. vol. 1, pp. 63-70,

8. Benjeddou O., Ouezdou M. B., and Bedday A., "Damaged RC beams repaired by bonding of CFRP laminates," Constr. Build. Mater., 2007. vol. 21, pp. 1301-1310.

9. Spyrakos C.C., Maniatakis C.A., Smyrou E., and Psycharis I.N., "FRP strengthened brick-infilled RC frames: an approach for their proper consideration in design," Open Const. Build. Technol. J., 2012. vol. 6, pp. 306-324,

## **СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**Панченко Л.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Как правило, строительные конструкции испытывают, кроме силовых воздействий, влияние температуры. Поэтому при их синтезе необходимо приведение в соответствие не только механических, но и термомеханических свойств массы тела с топологией и геометрией объекта.

Исключим случай высокого нагрева и связанные с ним изменения модуля продольной деформации  $E$  и коэффициента линейного расширения материала  $\alpha$ . Такого рода нагрев можно сочетать с отводом тепла в окружающую среду. Одновременно полагаем, что изменение объема тела при силовых воздействиях мало отражается на тепловом поле. Это позволяет вести раздельное определение внутренних усилий при силовых и термических воздействиях, то есть применить принцип суперпозиции, при малых деформациях и перемещениях.

В оптимальном проектировании несущих конструкций фундаментальное значение имеют вариационные принципы в теории

теплообмена и структурном синтезе [1, 2]. Дополнительные условия в виде уравнений связи накладывают ограничения на искомые параметры. Они примыкают к функционалу вариационной задачи с множителем Лагранжа  $\lambda$ . Так, в результате обобщения вариационного принципа изменения напряженного состояния тела, функционал Кастильяно в случае фермы заданного объема  $V$  принимает вид:

$$I = \sum_{i=1}^n \left( \frac{N_i^2 l_i}{2EA_i \varphi_i^2} + \frac{N_i \tilde{N}_i l_i}{EA_i \varphi_i^2} + \frac{\alpha}{\varphi_i} (N_i + \tilde{N}_i) l_i T_i \right) + \lambda \sum_{i=1}^n A_i l_i, \quad (1)$$

где  $N_i$  ( $\tilde{N}_i$ ) – продольное усилие в  $i$ -м стержне, число которых  $n$ , от силового (температурного) воздействия;  $l_i$  и  $A_i$  – длина и площадь поперечного сечения стержня соответственно;  $\varphi_i$  – коэффициент устойчивости (ферма предполагается как виртуальная система с внутренними усилиями  $N_i / \varphi_i$ ,  $\tilde{N}_i / \varphi_i$ ;  $T_i$  – температурное воздействие.

Из условия стационарности функционала (1) вытекают уравнения для определения внутренних усилий, а также переменных проекта (уравнения структурообразования). Последние при варьировании площадей сечений имеют вид:

$$-\frac{N_i^2}{2EA_i^2 \varphi_i^2} - \frac{N_i \tilde{N}_i}{EA_i^2 \varphi_i^2} + \lambda = 0. \quad (2)$$

К ним примыкает уравнение связи, которое в упомянутой изопериметрической задаче записывается в виде:

$$\sum_{i=1}^n A_i l_i = V. \quad (3)$$

В работе [3] содержится пример решения такого рода изопериметрической задачи (рис. 1).

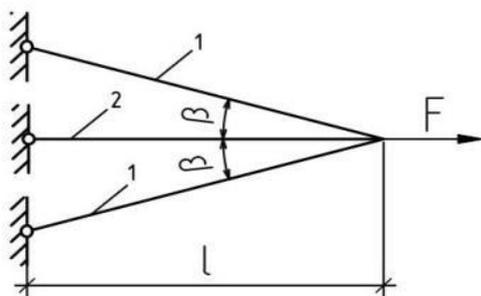


Рис. 1. Трехстержневая ферма

Исходные данные:  $l = 4$  м,  $F = 60$  кН,  $V = 0,011$  м<sup>3</sup>,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  С<sup>-1</sup>. Стержни 1 имеют нагрев  $T_1 = 90^\circ$ , стержень 2 –  $T_2 = 40^\circ$ . Варьируемыми параметрами приняты

площади  $A_1, A_2$  и угол  $\beta$ . В результате решения системы четырех нелинейных алгебраических уравнений получены значения множителя  $\lambda$  и искомого параметра:  $\beta = 14,2^\circ; A_1 = 9,21 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A_2 = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . При этом напряжения в стержнях имеют одинаковые величины 64,48 МПа, то есть достигается равнонапряженность фермы.

Задачи о температурных воздействиях на континуальные системы можно свести к задачам об усилиях на границе тела [4]. Для тонкой прямоугольной пластинки длиной  $2l$  переменной толщины введем прямоугольную систему координат  $XYZ$ , направив оси:  $X$  – вдоль длины,  $Y$  – по высоте  $h = 2c$  и  $Z$  – по толщине  $t$ . Предположим, что температура распределяется симметрично относительно оси  $X$ .

При нагреве продольное температурное расширение  $\alpha T$  можно устранить, если приложить к каждому элементу пластинки продольное напряжение  $\sigma_x^{\square} = -\alpha T E$ . Эти напряжения суммируются с величинами  $\sigma_x^{\square\square}$  от сил по торцам, имеющим результирующую  $F = \int_{-c}^{+c} \alpha T E t dy$ .

Функционал Кастильяно принимает вид:

$$I = 2l\alpha \int_{-c}^{+c} T \sigma_x t dy, \quad (4)$$

где  $\sigma_x$  – суммарное напряжение.

Для пластинки переменной толщины варьируемой величиной является  $t(y)$ . В случае изопериметрической задачи с заданным объемом материала обобщенный функционал имеет вид:

$$I_1 = I + 2l\lambda \int_{-c}^{+c} t(y) dy. \quad (5)$$

Его стационарность есть необходимое и достаточное условие для искомого допустимых функций  $t(y)$  – условных экстремалей.

Численное решение задачи сводится к проектированию пластинки кусочно-переменной толщины.

При расчете конструкций конкретного типа следует учитывать соответствующие им рекомендации [5]. Так, задание температурного воздействия по всем элементам без учета возможных поворотов опор может привести к чрезмерно завышенным усилиям, особенно в заземленных стойках.

В частном случае, когда температура на противоположных плоскостях симметричного сечения совпадает по величине и по знаку, возникают только напряжения растяжения-сжатия, что соответствует равномерному изменению длины волокон вдоль оси стержня.

В другом частном случае, когда температура на противоположных плоскостях симметричного сечения совпадает по величине и противоположна по знаку, возникают только изгибные напряжения.

### **Библиографический список**

1. Био М. Вариационные принципы в теории теплообмена. М.: Энергия, 1975. 209 с.
2. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.
3. Юрьев А.Г., Дрокин А.В. Решение изопериметрической задачи термоупругости для ферм // Сб. науч. тр. «Современные методы статического и динамического расчета сооружений и конструкций». Воронеж: Изд-во ВГАСА, 2000. С.154-158.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
5. Городецкий А.С. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: Справочно-теоретическое пособие. М.: 2003. 464с.

### **ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕНОБЕТОНА**

**Пирьев Ю.С., ст. преп.,**

**Мигулина А.А., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Уже несколько десятилетий глобальным для человечества и особенно важным для нашей страны является вопрос ресурсосбережения, в котором значительную часть занимает сбережение и эффективное использование энергоносителей. Немаловажную роль играет повышение энергоэффективности строительства, которое включает в себя как сам процесс возведения зданий и сооружений, так и весь период их эксплуатации. В связи с этим Россия в 2000 г перешла на новые нормы обеспечения теплозащитных свойств наружных стен, направленные на сокращение затрат на отопление, что напрямую влияет на сбережение энергоресурсов.

В соответствии с новыми требованиями теплозащитные свойства стен увеличились в 3 раза, что привело к активному переходу от однослойных стеновых конструкций к многослойным с внутренним эффективным утеплителем. Однако проблема создания многослойных долговечных и ремонтпригодных стен до сих пор не решена: срок службы эффективного утеплителя намного ниже, чем несущего слоя из бетона, камня и т.д. В перспективе существует несколько путей решения данной проблемы, основными из которых является создание легкоразбираемых и вторично используемых железобетонных и

каменных конструкций и переход снова к однослойным конструкциям, но с улучшенными теплотехническими свойствами из энергоэффективных блоков [1].

Актуальным и активно развивающимся направлением в данной области является изучение возможности применения бетонов на легких заполнителях, которые на сегодняшний день имеют большое количество разновидностей и, в связи с этим, могут иметь достаточно широкий ряд функций. Применение пенобетонов позволяет решить вопрос снижения массы ограждающих конструкций и тем самым снизить нагрузки на несущие конструкции. Также пенобетоны за счет своих свойств могут применяться в усилении существующих конструкций, для обеспечения необходимой огнезащиты конструкций или создания конструкций с улучшенными показателями эффективности использования прочностных свойств материалов [2]. Возможно множество конструктивных решений с применением пенобетона, которые используются как в монолитном, так и в сборном строительстве при возведении многоэтажных зданий и малоэтажных коттеджей, а также при реконструкции.

Роль пенобетонов возросла не только как теплоизоляционного, но и как конструкционного материала для несущих конструкций здания. Однако, следует отметить, что несущей способности бетонов на пористых заполнителях достаточно обычно для зданий до 5 этажей, а при сложных геологических условиях строительства – двух-трех этажей. Одним из способов усиления и увеличения несущей способности кладки стен и столбов из мелких пенобетонных блоков является создание комбинированных конструкций с железобетонными сердечниками из пенобетона. Использование легкого бетона вместо тяжелого позволяет снизить вес и повысить теплозащитные свойства стен, увеличить их сопротивляемость сейсмическим воздействиям и придать большую однородность конструкции здания. Опыт применения столбов из кирпичной кладки, усиленной монолитными армированными пенобетонными включениями, показал высокую эффективность данного решения. Величина прироста прочности опытных элементов составляет от 10,5 до 12 % [3].

В рамках государственных программ по обеспечению экологичности, комфортабельности проживания людей, в том числе по внедрению и развитию зеленого строительства в настоящее время активно ведется большое число исследований и внедряются практические разработки. Одной из таких является применение «озелененного» пенобетона для наружного озеленения как строящихся, так и уже существующих зданий и сооружений. Специалистами смежных областей был выявлен ряд мохообразных растений, которые

способны произрастать в цементном ячеистом пенобетоне с пористой структурой, который выступает в роли субстрата. Для исследования был принят неавтоклавный пенобетон и 4 вида мхов. Результаты показали, что изделия толщиной до 80 мм не имеют трещин и по средней плотности применимы для устройства навесных фасадных систем в виде однослойных облицовочных плит [4]. Таким образом, данная разработка позволяет дополнительно озеленить и утеплить уже существующие здания при капитальном ремонте, что повышает комфортность городской среды при относительно небольших затратах.

Значительным успехом в малоэтажном строительстве стало конструктивное решение, совмещающее использование деревянных или легких металлических конструкций в каркасном домостроении с получением монолитного неавтоклавного пенобетона непосредственно на строительной площадке, применяемого во всех элементах заполнения и узлах. Одним из вариантов эффективного применения монолитных пенобетонных конструкций является усиление каркасного здания дополнительными комплексными включениями с продольными и поперечными стенами в сейсмических районах. Сейсмические и несущие рамы совместно с дополнительными стенами обеспечивают жесткую пространственную работу здания, при этом возведение достаточно большого объема дополнительных стен незначительно увеличивает нагрузку на каркас благодаря небольшому удельному весу пенобетонных блоков. Также данная технология позволяет строить на заболоченных или мерзлых грунтах, так как легкость конструкции и наличие теплоизоляционных свойств у пенобетона, используемого в отмостке, позволяет защитить земляное полотно от промерзания или оттаивания, а также обеспечит более равномерные осадки конструкций за счет повышенной жесткости системы [5].

Популярность набирают также перекрытия и покрытия с применением пенобетона. Возможен ряд различных конструктивных решений, в которых пенобетон может выступать как несущим слоем, так и утепляющим, выравнивающим, звукоизоляционным или с совмещенными функциями. Эффективно применение монолитного пенобетона небольшой плотности как заполняющего слоя в перекрытия со стальными балками. При этом к нижнему поясу балок прикрепляется слой водостойких плит, выполняющих одновременно роль несъемной опалубки. Для недопущения прогибов опалубочных листов пенобетон заливается в 2 слоя: первый толщиной 5-7 см, второй – до проектного уровня после схватывания первого слоя. Верхний несущий слой перекрытия выполняется из пенобетона плотностью 900-1000 кг/м<sup>3</sup> (рис. 1).

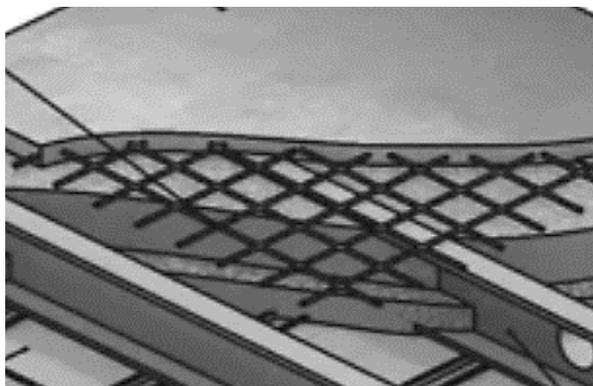


Рис. 1. Перекрытие с жестким диском из конструкционного пенобетона

Таким образом, фактором, сужающим область применения ячеистого бетона в строительстве, является недостаточный уровень показателей физико-механических свойств серийно выпускаемых в настоящее время материалов. Их повышение, при достаточной экономичности и незначительном увеличении удельного веса, позволит укрепить позиции ячеистого бетона на рынке как современного эффективного стенового материала [6, 7], а также расширить область применения перекрытий из комплексного бетона. В малоэтажном строительстве использование пенобетонов уже достаточно широко распространено, однако дальнейшая научно-исследовательская работа в области улучшения характеристик данных материалов сможет значительно повысить их конкурентоспособность.

#### **Библиографический список**

1. Тетиор А.Н. Железобетонные и каменные конструкции: учебник. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 556 с.
2. Омаров А.О. Обоснование критериев эффективности материалов для рациональных ограждающих конструкций и описание технологии эффективных конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на пористых заполнителях // Вестник Евразийской науки. 2021. №1. Т. 13. С. 11-20.
3. Новиков М.В., Сотникова О.А., Гойкалов А.Н. Несущая способность комплексных конструкций из ячеистых бетонов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. С. 5-10.
4. Лазаренко О.В., Шведов А.П. Вертикальное озеленение сложившейся застройки городов Беларуси // Строительство. Прикладные науки. 2021. №8. С. 75-79.

5. Лундышев И.А. Комплексное применение монолитного пенобетона при строительстве в труднодоступных районах добычи энергоресурсов // Инженерно-строительный журнал. 2019. №4. С. 16-20.

6. Пириев Ю.С., Пириева С.Ю. Методы усиления каменных конструкций и зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 25-29.

7. Сулейманова Л.А., Коломацкий А.С., Погорелова И.А., Марушко М.В. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 34-41.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

**Попова М.В., канд. техн. наук, доц.,  
Репин В.А., канд. техн. наук, доц.,  
Усов А.С., магистрант**

*Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

Ремонт или реконструкция зданий, при проведении которых осуществляется усиление, являются одним из этапов жизненного цикла существования железобетонных конструкций. Изменение требований к строительным конструкциям привело к тому, что все чаще стальная арматура заменяется композиционным материалом.

Первое внедрение стекловолокна как композитного материала датируется 1956-м годом в США. Массачусетский научно-технический институт разрабатывал план здания из полимерных материалов, которые были применены с использованием стекловолокна. Здание располагалось в Калифорнии, парке «Диснейлэнд», и предназначалось для одного из аттракционов. Объект прослужил десять лет, затем его решили определить под снос и заменить на иную достопримечательность.

При демонтаже конструкции железный шар-молот, который был предусмотрен для сноса зданий, соприкоснулся с конструкцией, отпрыгнул от нее, как-будто резиновый мячик. Сооружение доработали вручную. В следующие десятилетия было принято решение применять полимерные композитные материалы для армирования бетонных элементов. В различных странах (СССР, Япония, Канада и США) проводились исследования и анализ инновационного материала.

Проанализировав научные труды по рассматриваемой проблеме,

можно выделить следующих зарубежных авторов: Obaidat Y. T. [1], Lee H. K. [2], Barros J. A. O. [3], Dias S. J. E., Belarbia A., Acunb B. [4], Grace N. F. [5], Martinola G. [6] и др.

Martinola G. и др. изучали укрепление и ремонт железобетонных балок с помощью оболочки из полимера, армированного волокнами, с упрочняющими характеристиками при растяжении. Балки подверглись разрушению, далее восстановлению несущей способности. Для изучения поведения системы внешнего армирования углепластиком был проведен численный анализ. Экспериментальные и численные результаты показали эффективность предложенной технологии как в предельном, так и в эксплуатационном состоянии.

Obaidat и др. провели экспериментальную программу по изучению поведения при изгибе структурно поврежденных полномасштабных железобетонных балок, восстановленных с помощью углепластиковых ламинатов. Основными рассматриваемыми параметрами были коэффициент внутреннего армирования, место установки и длина углепластика. Результаты эксперимента показали, что балки, усиленные с помощью углепластиковых ламинатов, являются структурно эффективными и восстанавливаются до значений жесткости и прочности, практически равных или превышающих показатели контрольных балок. Результаты также показали, что модернизация изменяет режим разрушения на хрупкий, а эффективность метода усиления с использованием углепластиков при изгибе варьируется в зависимости от длины.

Железобетонные многопролетные балки с тавровым сечением, усиленные с помощью углеродного композитного материала, были исследованы Lee H. K., Cheong S. H., Ha S. K., Lee C. G. В общей сложности четырнадцать железобетонных балок таврового сечения были изготовлены с отношением сдвигового пролета к эффективной глубине 1,22 и испытаны в условиях четырехмерной нагрузки с учетом различных ключевых параметров, таких как: длина усиления, комбинация направлений композитного материала и анкерное крепление с использованием U-образных углепластиковых ламелей. Результаты показали, что почти все усиленные балки демонстрируют сдвиговое сжатие из-за частичного расслаивания листов углепластика, а ключевые параметры длины усиления, комбинации направлений волокон и анкерного крепления оказывают существенное влияние на прочность балок.

Эффективность метода усиления на нижней грани углепластиковых ламинатов для усиления тавровых железобетонных балок была экспериментально изучена Dias S.J.E., и Barros J.A.O. В

программе испытаний рассматривались три наклона ламината (45°, 60° и 90°) и для каждого из них рассматривалось три процентных содержания углепластика. Результаты показали, что наклонные ламинаты были более эффективными, чем вертикальные ламинаты. С увеличением процентного содержания ламинатов увеличивается сдвиговая способность балок.

Схемы разрушения балок изменялись в зависимости от процентного содержания ламинатов. Усиление балок на нижней грани является наиболее эффективным и увеличивает прочность на растяжение углепластикового материала. А также увеличивается величина критических касательных напряжений, воспринимаемых балкой.

Изучение предложения на рынке строительных материалов по усилению несущих конструкций показало, что среди углепластиков наиболее широко в системах внешнего армирования используется продукция фирм «CarbonWar», «Дон-композит», «FibArm» и «S&P Clever Reinforcement», а также системы структурного усиления на основе углепластика «Sika Carbo Dur System» фирмы «Sika». Усиление балок композитными конструкциями позволяет повысить несущую способность на 14-20 % [7, 8].

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

### **Библиографический список**

1. Obaidat Y.T., Heyden S., Dahlblom O., Farsakh G.A. and Jawad Y. A. (2011), "Retrofitting of reinforced concrete beams using composite laminates", *Construction and Building Materials*, 25, 591–597.
2. Lee H.K., Cheong S. H., Ha S.K., and Lee C. G. (2010), "Behaviour and performance of RC T-section deep beams externally strengthened in shear with CFRP sheets", *Composite Structures*, 93(2), C. 911-922.
3. Dias S.J.E., and Barros J.A.O. (2010), "Performance of reinforced concrete T beams strengthened in shear with NSM CFRP laminates", *Engineering Structures*, 32, 373-384.
4. Belarbia A., Acunb B. FRP Systems in Shear Strengthening of

Reinforced Concrete Structures // Procedia Engineering. 2013. № 57. P. 2–8.

5. Grace N.F. Strengthening of concrete beams using innovative ductile fiber – fiber reinforced polymer fabric // ACI Structural Journal. № 5(99). 2002. P.692–700. 17.

6. Martinola G., Meda A., Plizzari G.A., and Rinaldi Z. (2010), “Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete”, Cement & Concrete Composites, 32, 731–739.

7. Lukin, M.V., Popov, M.V., Lisyatnikov, M.S.: Short-term and Long-Term Deformations of the Lightweight Concrete. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/3/032071>.

8. Lisyatnikov, M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E.: Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012064.1379>. – DOI 10.1007/978-3-030-96383-5\_153.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РАЗРЕЗЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Пушкарев И.А., канд. техн. наук, доц.,**

**Мусина Э.М., магистрант,**

**Тратканова А.А., магистрант**

*Ижевский государственный технический  
университет им. М.Т. Калашиникова, г.Ижевск, Россия*

В последнее время проектирование элементов строительных и машиностроительных конструкций и дальнейшее их изготовление постоянно усложняется. Возрастают требования к точности расчетов, а также качеству и надежности, уменьшению времени изготовления, и в то же время к снижению трудоемкости инженерных работ. Все это приводит к повсеместному внедрению информационных технологий.

Целью исследования является сравнение основных программных средств, используемых в машиностроении и строительстве, повышающих работоспособность и эффективность предприятий.

Строительное и машиностроительное проектирование имеет две отличные друг от друга ветви развития:

CAD – автоматизированная система информационного проектирования, характерная для строительства и машиностроения.

ВМ – современный метод проектирования модели, в котором содержится информация о строительном объекте, используется только в строительном проектировании.

Различия двух ветвей заключаются в том, что системы CAD ориентированы на узконаправленную задачу, а в BIM проектирование охватывает множество процессов, обеспечивает комплексную работу над созданием проекта [1, 2]. Именно поэтому, BIM-технологии получили широкое распространение в мировой области строительства.

Применение информационного моделирования в проектировании имеет ряд преимуществ:

- информационные технологии позволяют выявить погрешности на ранних стадиях проектирования;

- экономия времени при проектировании, т.к. программное обеспечение автоматически корректирует чертежи после внесения изменений в проект;

- с применением информационных технологий возможно дальнейшее прогнозирование стоимости объекта на стадии проектирования [3, 4].

При помощи цифровых технологий в области машиностроения возможно устранение дефектов при управлении сложным циклом создания деталей. Информационные технологии оказывают значительное влияние на технологию производства, ориентированы на сокращение времени внедрения новых изделий и на улучшение качества выпускаемой продукции [5].

Также существуют разработки в области виртуальных технологий, такие, как «Виртуальная реальность» (Virtual Reality) и «дополненная реальность» (Augmented Reality). VR-технологии – это цифровая среда, где пользователи воспринимают цифровой мир как реальность. Они применяются для погружения пользователя в цифровой мир. AR-технологии – это цифровые объекты в реальном мире. VR/AR технологии применяют в медицине, образовании, искусстве, машиностроении.

Один из первых VR/AR проектов был использован в машиностроении в компании Boeing. Например, с помощью визуального представления жгута проводов для прокладки по периметру корпуса самолета и схем составления этих жгутов, сократилось время монтажа и снизилось количество недочетов при проектировании объекта. Термин «дополнительная реальность» появился во время реализации данного проекта [6].

В настоящее время в строительной области модернизируются программные обеспечения информационного моделирования. В машиностроении же наблюдается усовершенствование систем CAD/CAE/CAM, ориентированные на моделирование технологических процессов и конструкторский анализ.

Рассмотрим основные программные средства, используемые в производственной деятельности в сравнительной табл. 1 на основе выбранных критериев по анализу литературы [1-6], где отображены возможности программных комплексов:

Revit – программный комплекс, предназначенный для автоматизированного моделирования здания. Программный пакет позволяет моделировать в трехмерном пространстве здания со всеми включающими его системами, коммуникациями и конструктивом.

Таблица 1.

**Сравнительная таблица программных комплексов по предложенным критериям**

Критерий	Программа			
	Revit	ArchiCAD	AutoCAD Architecture	SprutCAM
Программное обеспечение выстраивает чертежи самостоятельно, за счет заполнения граф документов.	+	-	-	-
Программное обеспечение автоматически корректирует чертежи после внесенных изменений в проект.	+	+	-	+
Функция командного сотрудничества	+	+	-	-
Качественная 3D-визуализация	+	+	+	+
Учитывает применение российских стандартов и официальные нормативы	-	+	-	+
Совместимость между старыми и новыми версиями.	-	-	-	+
Отслеживания различных этапов всего жизненного цикла здания	+	-	-	-
Цена на январь 2023 г.	Бесплатная образцовая лицензия \$ 2,310	Бесплатно для студентов \$ 300- \$ 6800	Бесплатно для студентов \$ 1,575	От \$ 645,5 до \$ 10 381,9
Операционные системы	Windows 7 и выше	Windows 7 и выше, macOS 10.9 и выше	Windows 7 и выше	Windows 7 и выше

ArchiCAD – это графическое программное обеспечение для архитекторов, проектирующих жилые, общественные и производственные здания. Позволяющее создавать 2D и 3D

визуализации, а также реалистичную виртуальную модель здания.

AutoCAD Architecture – это специализированное приложение на основе AutoCAD, продукта компании Autodesk, предназначенное для пользования архитектурного проектирования.

SprutCAM – российское программное обеспечение, позволяет моделировать процесс обработки детали на любом станке, предназначенная для разработки управляющих программ для разработки и обработки деталей различной сложности. SprutCAM автоматически помечает кадры программы, в которых обнаруживает столкновения или недопустимые режимы резания [7].

Анализ таблицы дает возможность увидеть различия рассмотренных программных комплексов и выбрать наиболее приемлемый для определенного рода задач.

В заключении можно сделать вывод, что использование информационных технологий как для машиностроительных, так и строительных конструкторских расчетов занимает меньший объем времени инженера-расчетчика, дает возможность учитывать физическую нелинейность в инженерных расчетах и иметь представление проектируемого элемента конструкции в наглядном виде.

### **Библиографический список**

1. Молодцова Е.Д. BIM-технологии в строител // Дневник науки. – 2022. – № 11(71). – DOI 10.51691/2541-8327\_2022\_11\_13.
2. . Соловьев Б., Коптилова В.Г., Катюк Д.П. Сравнение эффективности использования технологий BIM и CAD с помощью математической модели / Д.Б. Соловьев, В.Г. Коптилова, Д.П. Катюк [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 18-26.
3. Фонтокина В.А. Роль BIM-технологий в организации и технологии строительства / В.А. Фонтокина, А. А. Савенко, Е. Д. Самарский // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 1.
4. Ягунова Ю.С., Губанова А.А., Ильин А.Ю., Таничев М.В. Преимущества внедрения BIM-технологий в строительстве // . – 2021. – № 1. – С. 273-275.
5. Хайдаров А.К. К вопросу применения информационных технологий в машиностроении / А.К. Хайдаров, Д.К. Бегматов // Вестник Науки и Творчества. – 2022. – № 10(82). – С. 38-42.
6. Идрисова Ж.В. Цифровые технологии в машиностроении: перспективы, риски / Ж.В. Идрисова, С.Х. Алихаджиев // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2021. – № 1(14).

– С. 76-80.

7. Черемисина Е.В. BIM технологии в строительстве / Е.В. Черемисина, Л.А. Адамцевич // . – 2021. – № 5-2(73). – С. 201-205.

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДЕФЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ КИРПИЧНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

**Римшин В.И., д-р техн. наук, проф.**

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

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

**Анпилов С.М., д-р техн. наук, проф.**

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет, г. Новосибирск, Россия*

Срок службы зданий и сооружений напрямую зависит от технического состояния их несущих конструкций, изменяющегося во времени от влияния силовых и средовых нагрузок [1, 2]. Для недопущения возникновения чрезвычайных ситуаций и возможности дальнейшего проведения капитального ремонта здания, усиления его строительных конструкций различными методами требуется проведение периодических обследований конструктивных элементов здания, нахождение их фактических геометрических и физико-механических характеристик, выявление существующих дефектов и повреждений, причины их образования, степени физического износа и остаточного ресурса [3-8].

В рамках реализации региональной программы капитального ремонта многоквартирных жилых домов Московской области было проведено обследование технического состояния 2х этажного нежилого кирпичного дома.

Место постройки жилого дома по климатическим характеристикам относится к ПВ климатическому району, III снеговому району, и I ветровому району.

Здание – 2-х этажное нежилое с подвалом (рис. 1). Габаритные размеры здания 36,44×12,82 м, высота – 7,4 м. Конструктивная система стеновая. Наружные и внутренние несущие стены – кирпичные. Плиты перекрытия и покрытия железобетонные.

Кровля шиферная на деревянных стропилах. Заполнение оконных проемов выполнено из деревянных рам с двойным остеклением. Дверные проемы металлические. Фундамент ленточный кирпичный.

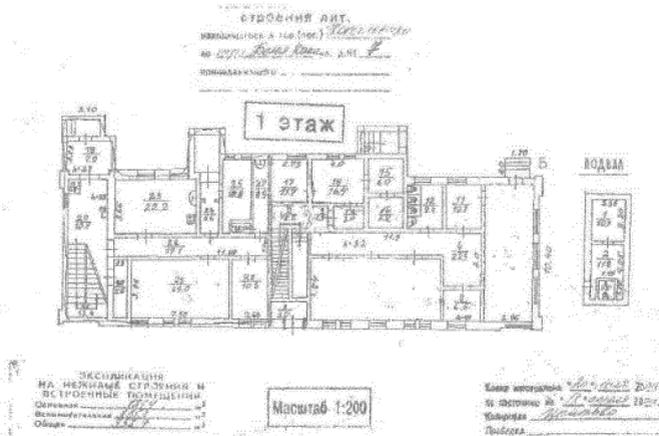


Рис. 1. План 1-го этажа двухэтажного обследуемого жилого дома

Обследование технического состояния жилого дома включало в себя:

- ознакомление с объектом обследования, его конструктивными особенностями и режимами эксплуатации, подбор и анализ проектно-технической документации, выявление конструктивного исполнения зданий;
- сплошное визуальное обследование конструкций здания и выявление дефектов и повреждений по внешним признакам;
- детальное (инструментальное) обследование, включающее в себя определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов методами неразрушающего контроля, камеральную обработку и анализ результатов обследования, анализ причин появления дефектов и повреждений в конструкциях, составление заключения с выводами по результатам обследования, разработку рекомендаций по ремонту (усилению) конструкций для последующей безопасной эксплуатации объекта, составление технического отчета о состоянии строительных конструкций.

Обследование проводилось в соответствии с Комплексной методикой по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий (МДС 13-20.2004) и ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». А также согласно нормативных документов Российской Федерации, таких как:

- Градостроительный кодекс Российской Федерации;
- Технический регламент о безопасности зданий и сооружений;

- СП 70.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции»;
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях»;
- ВСН 58-88 (р) Положение об организации и проведение реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования;
- ВСН 53-86 (р) Правила оценки физического износа жилых зданий.

В ходе визуального осмотра конструкций и конструктивных элементов здания определялась правильность изготовления и монтажа несущих конструкций, в соответствии с СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87».

Предельные отклонения размеров элементов и фактического положения конструкций сравнивались со значениями, приведенными в таблицах 5.11 и 5.12 СП 70.13330.2012.

При осмотре железобетонных конструкций устанавливались внешний вид, цвет, монолитность, наличие посторонних включений, поверхностная рыхлость, раскрытие и глубина трещин, наличие и состояние арматуры и металлоизделий. Производились поверочные расчеты железобетонных элементов с учетом фактических физико-механических характеристик бетона и арматуры [9-19].

Обследование каменных конструкций проводилось с целью определения их общего состояния. При визуальном обследовании выявлялись видимые повреждения или дефекты, деформации, определялся характер и степень повреждения частей здания и отдельных конструкций, наличие трещин, места раздробления и расслоения кладки, разрыв связей, повреждение кладки под опорами конструкций, искривления, выпучивания, отклонения от вертикали, нарушение мест сопряжения между отдельными элементами, поверхностные повреждения кирпича и раствора, следы намокания и участки протечек [3, 4]. При визуальном осмотре кирпичной кладки устанавливался вид кирпича, его размеры, толщина швов, вид перевязки, состояние кладки стен.

При обследовании металлоконструкций объекта в доступных местах было измерено и проанализировано:

- качество выполнения сварных швов;
- деформации отдельных элементов и их отклонения от

проектного положения;

- искажение формы и нарушения геометрических размеров узлов;
- механические и температурные повреждения элементов;
- дефекты и разрушения сварных швов и соединений;
- разрушения антикоррозийной защиты и коррозионные повреждения металла.

При проведении инструментального обследования применялись оптические, электромеханические, а также другие измерительные приборы и приспособления, основанные на различных методах неразрушающего контроля качества.

Для определения линейных размеров конструкций и их отклонений применяли линейки по ГОСТ 427 и ГОСТ 17435, рулетки по ГОСТ 7502, электронные дальномеры по ГОСТ 19223 [5, 6].

Для фиксации дефектов и геометрического расположения конструкций применялись – лазерный уровень и дальномер «Leica DISTO A5», цифровая фотокамера «Canon EOS 400D Kit». Для осмотра недоступных узлов и элементов конструкций использовался бинокль с 20 кратным увеличением. Для определения трещин и мелких дефектов применялись лупы с 4 и 10 кратным увеличением.

Для определения марки раствора и кирпича в кладке использовался ударно-импульсный измеритель прочности ОНИКС-2.6 зав. №521.

В ходе проведения обследования были установлены дефекты фундамента здания. Вследствие не герметичного узла сопряжения отмостки и цоколя по всему периметру здания, а также ввиду отсутствия вертикальной и горизонтальной гидроизоляции, конструкции фундаментов подвержены систематическому увлажнению атмосферными осадками, что в свою очередь приводит к вымыванию раствора швов бутовой кладки фундамента здания, а также локальному разрушению тела кладки. Обнаружена неравномерная осадка здания вследствие локального разрушения элементов бутовой кладки фундамента, о чем свидетельствуют вертикально направленные интенсивно развивающиеся трещины в облицовочном слое кирпичной кладки наружных стен и осадка отмостки здания. Найдены локальные участки выщелачивания бетона отмостки по периметру обследуемого здания, биологическое поражение цокольной части здания, локальные трещины в теле бетонной и асфальтобетонной отмосток, что подтверждает неравномерную осадку обследуемого здания (рис. 2). В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа фундаментов составляет 69 %, что определяет аварийное состояние фундаментов.



Рис. 2. Разрушение отделочного слоя цоколя здания, биологическое поражение

В ходе проведения обследования стен (рис. 3), были выявлены следующие дефекты и нарушения:

- разрушение кладки наружных кирпичных стен здания, трещины вертикального направления, шириной раскрытия более 1,6 мм, пересекающие более 14 рядов кладки;
- выветривание швов кирпичной кладки.



Рис. 3. Разрушение кладки наружных кирпичных стен здания

В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа кирпичных стен составляет 72%. Состояние стен и перегородок здания – ограниченно-работоспособное.

В ходе проведения обследования перекрытия, были выявлены следующие дефекты и нарушения:

- множественные трещины в плитах перекрытия;
- значительное смещение плит перекрытий относительно друг друга по высоте.

В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа железобетонных перекрытий составляет 79%. Состояние деревянных перекрытий здания – аварийное.

В ходе проведения обследования стропильной системы (рис. 4), были выявлены следующие дефекты и нарушения:

- прогибы стропильных ног;
- поражение гнилью древесины деталей крыши.

В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа стропильной системы составляет 87 %. Состояние стропильной системы здания – аварийное.

В ходе проведения обследования кровли, выявлены массовые трещины и протечки кровли. В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа кровли составляет 86 %. Состояние кровли здания – аварийное.



Рис. 4. Поражение гнилью древесины деталей крыши

В ходе обследования обнаружены следующие дефекты лестничных маршей и площадок:

- стертости и сколы в ступенях на лестничных маршах;
- отклонение от проектного положения ограждающих конструкций лестничного марша с частичным отсутствием поручней;
- разрушение и истирание керамической плитки площадок.

В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа железобетонных лестничных маршей и площадок составляет 55 %. Состояние железобетонных лестничных маршей и площадок – ограниченно- работоспособное.

В ходе проведения обследования полов здания было обнаружено местное отсутствие и истирание элементов керамического покрытия пола. Наблюдаются локальные участки просадки пола в местах намкания. В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение

физического износа для деревянных конструкций, керамических полов составляет 70%. Состояние конструкций пола здания – аварийное.

В ходе проведения обследования окон и проемов было обнаружено:

- деревянные дверные и оконные блоки подвержены короблению, имеют плохой притвор, а также нарушения лакокрасочного покрытия с частичным отсутствием остекления у оконных блоков;

- подоконное пространство и периметр оконного проема с наружной стороны имеют нарушения штукатурного слоя с образованием локальных трещин.

В соответствии ВСН 53-86 (р), среднее значение физического износа конструкций деревянных оконных блоков составляет 55 %, а среднее значение физического износа деревянных дверей составляет 55 %. Состояние оконных блоков – ограниченно-работоспособное, состояние дверных блоков – ограниченно-работоспособное.

В результате визуального-инструментального обследования и анализа полученных материалов, строительные конструкции нежилого здания, расположенного в Московской области в соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», находится в аварийном состоянии.

Обследуемое здание не соответствует требованиям Главы 7 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент безопасности зданий и сооружений».

Дальнейшая эксплуатация нежилого здания, при действующих фактических нагрузках и воздействиях с учетом выявленных дефектов и повреждений, возможна лишь при условии проведения капитального ремонта (реконструкции). Выполнение ремонтно-восстановительных работ нецелесообразно, так как материальные затраты на восстановление объекта будут превышать затраты на возведение аналогичных новых площадей. Рекомендуется выполнить мероприятия по сносу здания в соответствии с проектными решениями.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова, Л.А., Амелин П.А. Развитие процессов коррозии железобетона в условиях хлоридной агрессивной среды // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры

строительства и городского хозяйства. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. Том 1. С. 131-135.

2. Римшин В.И. Повреждения и методы расчета усиления железобетонных конструкций. Диссертация на соискание учетной степени доктора технических наук, Москва, 2001.

3. Сулейманова Л.А., Римшин В.И., Амелин П.А., Рябчевский И.С. Программа расчета внешнего композитного усиления железобетонных изгибаемых конструкций, подверженных равномерной коррозии стальной арматуры. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022664546, 01.08.2022. Заявка № 2022663940 от 25.07.2022.

4. Амелин П.А., Сулейманова Л.А., Римшин В.И., Есипов С.М., Рябчевский И. С. Программа расчета внешнего композитного усиления железобетонных изгибаемых конструкций, подверженных различным видам коррозии поперечного сечения стальной арматуры. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022680168, 28.10.2022. Заявка № 2022669572 от 19.10.2022.

5. Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Фролов Н.В. Композитное усиление железобетонных изгибаемых элементов, поврежденных под воздействием хлоридной агрессивной среды // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 29-34.

6. Римшин В.И., Галубка А.И., Синютин А.В. Инженерный метод расчета усиления железобетонных плит покрытия композитной арматурой // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 218-220.

7. Римшин В.И., Бикбов Р.Х., Кустикова Ю.О. Некоторые элементы усиления строительных конструкций композиционными материалами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 381-383.

8. Казачек В.Г. и др. Обследование и испытание зданий и сооружений учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Промышленное и гражданское строительство" направления подготовки "Строительство" под ред. В. И. Римшина. Москва, 2012. (Изд. 4-е, перераб. и доп.).

9. Римшин В.И., Амелин П.А. Численный расчет изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения в программной среде Abaqus // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 6. С. 552-563.

10. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона Москва, 2015.

11. Варламов А.А., Римшин В.И. Модели поведения бетона. общая теория деградации для студентов инженерно-строительных факультетов, получающих образование по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / Москва, 2019. Сер. Научная мысль

12. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Промышленное и гражданское строительство" направления подготовки дипломированных специалистов "Строительство" / Москва, 2007. (2-е изд., доп.)

13. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 483-491.

14. Ларионов Е.А., Римшин В.И., Василькова Н.Т. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 2. С. 77-81.

15. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2009. № 2-22. С. 29-33.

16. Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 02025.

17. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 032024.

18. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Т. 13. № 11. С. 3851-3856.

19. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 032053.

## РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕКРЫТИЯ АЦИДОФИКАТОРОВ

Римшин В.И., д-р техн. наук, проф.,

Кузина И.С., студент

Московский государственный строительный  
университет г. Москва, Россия

Кецко Е.С., аспирант

Научно-исследовательский институт строительной  
физики (НИИСФ РААСН), г. Москва

В данной статье выполнен статический расчет элементов перекрытия ацидофикаторов очистных сооружений. Перекрытие камеры выполняется из стальных прокатных балок СТО АСЧМ 20-93 марки 70Б2, устанавливаемых с шагом 1-3 м, к которым на подвесках из нержавеющей труб квадратного сечения крепится с шагом 1,5 м обрешетка из нержавеющей труб прямоугольного сечения по которым выполняются настилы из нержавеющей листа толщиной 1,5 мм [1, 2].

Временная нагрузка от пребывания рабочего персонала с перемещением по временным мосткам с настилом, опирающимся на обрешетку  $q = 50 \text{ кг/м}^2$ :

$$q_1 = 0.05 \times 1.3 = 0.065 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}$$

Снеговая равномерно распределенная нагрузка  $q_2^H = 240 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$   
(3 снеговой пояс, Москва):  $q_2 = 0.24 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}$

Собственный вес стальных прокатных балок. Принимаем балку 70Б2  $P=144,2 \text{ кг п.м.}$ :

$$P_1 = 0.1442 \times 1.1 = 0.15862 \approx 0.16 \text{ т п. м.}$$

Приведенная нагрузка от обрешетки и листовой стали:

$$q_4 = 0,02 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, q_4^H = 0,02 \times 1,1 = 0,022 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}$$

Тогда суммарная равномерно распределенная нагрузка составит:

$$\sum q^p = 0,065 + 0,022 + 0,24 = 0,327 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}$$

Погонная нагрузка на балку составит:

$$\sum P^p = 0,327 \times 3 + 0,16 = 1,141 \text{ т п. м.}$$

Производим проверку главных балок на прочность [3, 4].

Расчетный изгибающий момент:

$$M = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{1.141 \times 20^2}{8} = 57.05 \text{ тм}$$

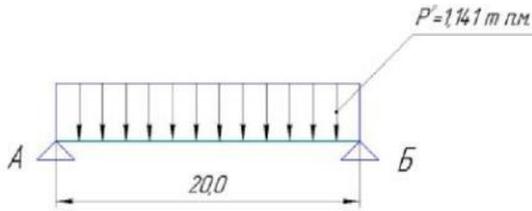


Рис. 1. Расчетная схема

Характеристики балки 70Б2:

$$J = 145913 \text{ см}^4; W = 4186,9 \text{ см}^3; P = 144,2 \text{ кг п. м.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{5705000}{4186,9} = 1362,6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq 2100 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Производим определение прогиба главных балок:

$$h = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot J \cdot E} = \frac{5 \cdot 11,41 \cdot 2000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 145913} = 7,76 \text{ см}$$

Тогда относительный прогиб балки будет равен:

$$l = \frac{7,76}{2000} = \frac{1}{257} \leq \frac{1}{250}$$

Условие прогиба соблюдается [5-7].

Расчет на прочность элементов обрешетки. Суммарная равномерно распределенная нагрузка:

$$\sum q^p = 0,065 + 0,022 + 0,24 = 0,327 \frac{\text{т}}{\text{м}^2}$$

Шаг обрешетки 1500 мм. Пролет  $l_{\text{расч.}} = 3000 \text{ мм}$ .

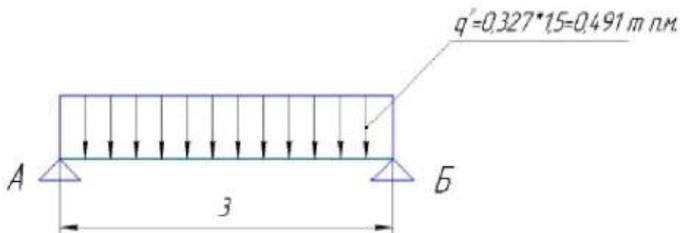


Рис. 2. Расчетная схема

Расчетный изгибающий момент:

$$M = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{0,491 \times 3^2}{8} = 0,55 \text{ тм}$$

Необходимый момент сопротивления:

$$W = \frac{M}{R} = \frac{55000}{3400} = 16.2 \text{ см}^3$$

где  $R = 3400 \text{ кг/см}^2$ -расчетное сопротивление нержавеющей стали.

Принимаем в качестве несущей конструкции обрешетки прямоугольную трубу из нержавеющей стали сечение  $140 \times 60 \times 3$  [8, 9].

$$J_x = 278,08 \text{ см}^4; W = 39,73 \text{ см}^3;$$

Определяем прогиб элемента обрешетки:

$$h = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot J \cdot E} = \frac{5 \cdot 4.91 \cdot 300^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 278,08} = 0,89 \text{ см}$$

Тогда относительный прогиб составит:

$$\Delta l = \frac{0,89}{300} = \frac{1}{337} \leq \frac{1}{250}$$

Условие прогиба соблюдается [10].

Расчет подвески обрешетки к главным балкам.

Растягивающее усилие на подвеску:

$$N = 0.327 \cdot 3 \cdot 1.5 = 1.472 \text{ т}$$

В качестве подвески принимаем трубу из нержавеющей стали  $60 \times 60 \times 3$ .

Напряжение в подвеске:

$$R = \frac{N}{F} = \frac{1.472}{6.84} = 215 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq 3400 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

где  $F = 6,84 \text{ см}^2$ -площадь сечения трубы.

В качестве сплошного настила следует принять лист из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм. Размер каждого листа составляет  $1500 \times 1500$  мм. Листы необходимо закрепить на сварке к элементам обрешетки по четырем сторонам. В этом случае все работает как тонкая диафрагма на растяжение. Перемещение рабочего персонала по настилу запрещено. Перемещение допускается по подмостям, опирающимся на элементы обрешетки с шагом 1,5 м [11, 12].

По результатам выполненного статического расчета и определения усилий, действующих в сечениях элементов перекрытия ацидофикаторов очистных сооружений, выполнен подбор конструкций сооружения. Произведена проверка главных балок, элементов обрешетки на прочность по первому и второму предельным состояниям. В результате расчетов главные балки приняты сечением 70Б2 с шагом от 1 до 3 м, а в качестве несущей конструкции обрешетки - прямоугольная труба из нержавеющей стали сечение  $140 \times 60 \times 3$ , подвеска - труба из нержавеющей стали  $60 \times 60 \times 3$ .

### Библиографический список

1. Трунтов П.С., Кецко Е.С. Принципы инженерно-технического обследования строительных конструкций первичных отстойников // В сборнике: Строительство. Архитектура. Дизайн. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Курский государственный университет. Курск, 2020. С. 194-197.
2. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 483-491.
3. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2009. № 2-22. С. 29-33.
4. Римшин В.И., Кецко Е.С., Кузина И.С. Методы определения прочности материалов в строительных конструкциях сооружений водоподготовки // Университетская наука. 2020. № 1 (9). С. 29-32.
5. Кощев А.А., Рощина С.И., Лукин М.В., Сергеев М.С., Глебова Т.О. Армирование деревянных балок стальной тросовой арматурой по криволинейной траектории в зонах анкеровки. анализ напряженного состояния и технологических перспектив // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 6 (994). С. 80.
6. Римшин В.И., Кузина Е.С. Проведение инженерно-геологических изысканий при реконструкции городских территорий // Университетская наука. 2016. № 2. С. 52-57.
7. Римшин В.И., Семенова М.Н., Сафина Р.И. Обследование незавершенного строительства здания бытового обслуживания // В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. сборник статей XXII Международной научно-технической конференции. Под редакцией Н.Н. Ласькова. Пенза, 2022. С. 127-131.
8. Курбатов В.Л. Концептуальные вопросы способа очистки жилых и производственных помещений зданий из бетона и аммиака // Университетская наука. 2020. № 1 (9). С. 8-11.
9. Долбин Н.С., Курбатов В.Л. Реализация потенциала ресурсосбережения ЖКХ в мире // Университетская наука. 2020. № 2 (10). С. 52-54.
10. Петров В.В., Мурашкин В.Г. Монолитные железобетонные перекрытия с повышенной несущей способностью // Эксперт: теория и практика. 2021. № 1 (10). С. 38-45.
11. Курбатов В.Л., Дайронас М.В. Организация строительного инжиниринга // Университетская наука. 2020. № 1 (9). С. 23-25.
12. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С., Кузина И.С., Быков

Г.С. Композитные материалы для бетонных и железобетонных конструкций // В Сборнике: актуальные вопросы архитектуры и строительства материалы. Семнадцатой Международной научно-технической конференции. Отв. ред.: В. Т. Ерофеев. 2018. С. 222-225.

## **ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.,  
Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.,  
Фролов Н.В., канд. техн. наук, доц.,  
Демин В.О., аспирант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

**Смоляго Е.Г., нач. отдела стр. аудита, канд. техн. наук  
ООО «Строительная экспертиза», г. Белгород, Россия**

Вследствие экономичности значительное количество подземных резервуаров выполняются в железобетонном варианте. Многие из них возведены начиная с середины 50-х гг. XX в. Соответственно, срок эксплуатации многих из них составляет 50 лет и более.

Принимая во внимание длительный срок эксплуатации монолитных железобетонных резервуаров производственного назначения для хранения воды, превышающий, в ряде случаев, нормативный срок службы, следует уделять существенное внимание оценке остаточного ресурса и возможного продления срока их безопасной эксплуатации. Опыт длительной эксплуатации резервуаров показал, что они имеют конечный срок службы. Это в том числе обусловлено накоплением дефектов и повреждений в конструкционных материалах в результате совместного воздействия как силовых, так и средовых факторов. Коррозия арматуры и бетона, снижение прочностных характеристик бетона и нарушение сцепления арматуры с бетоном приводят к снижению несущей способности резервуаров сокращению, срока их эксплуатации и возникновению аварийных ситуаций [1, 2].

В связи с этим в представленной работе приводятся результаты обследования технического состояния монолитных железобетонных резервуаров за период их эксплуатации с целью оценки остаточного ресурса конструкции и возможности продления срока их эксплуатации, вследствие, учитывая то обстоятельство, что фактической срок эксплуатации, в ряде случаев, превышает нормативный.

Оценка остаточного ресурса несущей способности рассмотрена на

примере одного из обследованных резервуаров.

Монолитный подземный цилиндрической железобетонный резервуар объемом 400 м<sup>3</sup>, диаметр в «чистоте» – 12530 мм, высота – 3480 мм. Стены резервуара выполнены толщиной 200 мм, сечение колонн 250×250 мм с капителью сверху и подколонником внизу. Покрытием резервуара служит монолитная безбалочная железобетонная плита толщиной 100 мм, опертая на наружные стены и капители внутренних колонн, днище – монолитная железобетонная плита. Срок эксплуатации резервуара – 60 лет. План и разрез резервуара представлены на рис. 1.

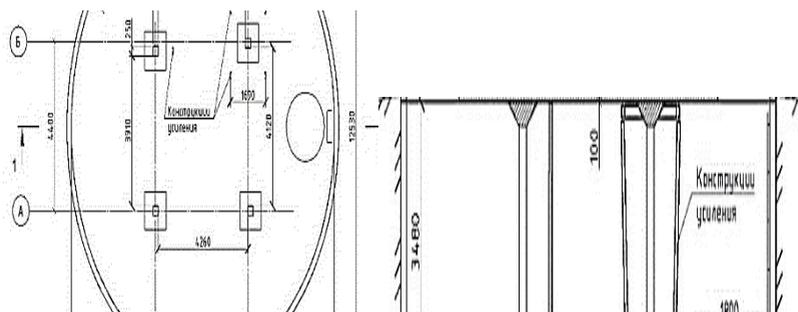


Рис. 1. План и разрез резервуара

В результате проведенного обследования технического состояния конструкций установлено следующее.

Монолитная железобетонная плита днища не имеет существенных дефектов и повреждений, класс бетона по прочности на сжатие В20. Верхнее армирование днища выполнено из арматуры  $\varnothing 12$  мм, установленной с шагом 200 мм.

Монолитные железобетонные стены по высоте можно разделить условно на 2 яруса: 1-й ярус расположен от отметки днища до  $\approx 0,5$  м до нижней поверхности плиты покрытия. В пределах высоты 1-ого яруса монолитные железобетонные стены не имеют значительных дефектов и повреждений, класс бетона по прочности на сжатие В25. Стены армированы сеткой из вертикальной арматуры  $\varnothing 12$  мм марки Ст. 3, установленной с шагом 200 мм, и горизонтальной (кольцевой) арматуры  $\varnothing 8$  мм марки Ст. 3, установленной с шагом 200 мм. Внутренняя поверхность стен оштукатурена цементно-песчаным раствором.

Для 2-го яруса, расположенного у плиты покрытия, класс бетона по прочности на сжатие В7,5 (рис. 2).



Рис. 2. Состояние внутренней поверхности стен резервуара у плиты покрытия

К причинам снижения прочности бетона стен 2-го яруса следует отнести отсутствие обваловки и ее утепления по высоте 2-го яруса, что сопровождалось попеременным замораживанием и оттаиванием бетона, находящегося в водонасыщенном состоянии.

Колонны резервуара за исключением капителей имеют гладкую поверхность, на них отсутствуют видимые повреждения, цвет бетона светло-коричневый, класс бетона по прочности на сжатие В20. Капители имеют цвет светло-серый с белым налетом наверху, обусловленный проявлением коррозии 1-го вида. Техническое состояние колонн и капителей представлено на рис. 3.



Рис. 3. Техническое состояние колонн и капителей

Колонны армированы 4 стержнями  $\varnothing 14$  мм марки Ст. 3.

Плита покрытия находится в аварийном состоянии. Имеются ее значительные деформации вследствие продавливания капителями колонн. В процессе эксплуатации резервуара у двух колонн были установлены конструкции усиления, что позволило на непродолжительный период времени продолжить его эксплуатацию.

Большая часть поверхности покрытия имеет следы длительного и интенсивного увлажнения. В этих местах на нижней поверхности плиты покрытия прослеживаются следы выщелачивания бетона в виде налетов и разводов светлого и темного тонов, бетон имеет рыхлую структуру, каверны. Класс бетона по прочности на сжатие В3,5. Вследствие коррозии арматуры и ненормативной величины защитного слоя бетона – 5 мм, на отдельных участках произошло отслоение защитного слоя бетона с нарушением сцепления арматуры (рис. 4).



Рис. 4. Техническое состояние плиты покрытия

Плита покрытия армирована одной сеткой по высоте с продольными и поперечными стержнями  $\varnothing 12$  мм марки Ст. 3 с шагом 200 мм.

К причинам снижения прочности бетона покрытия следует отнести:

- отсутствие утепления покрытия приводило к попеременному замораживанию и оттаиванию увлажненного бетона;
- негерметичность кровельного покрытия;

– коррозия бетона и арматуры [3].

Для оценки технического состояния конструкций резервуара был выполнен расчет с использованием ПК «Лира-САПР» с учетом фактических размеров поперечных сечений конструкций, их армирования и прочности бетона [4]. Расчет показал, что прочность и трещиностойкость днища, колонн и стен обеспечена. При классе бетона по прочности на сжатие В3,5 и коррозии арматуры несущая способность монолитной плиты покрытия на действие изгибающего момента и на продавливание не обеспечена (рис. 5). Техническое состояние монолитной плиты покрытия аварийное.

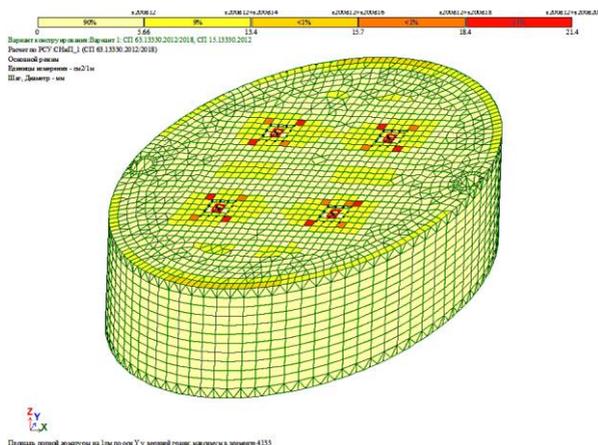


Рис. 5. Требуемое верхнее армирование плиты покрытия

На основании результатов выполненных расчетов был определен остаточная несущая способность конструкций (ОН) резервуара, а именно:

$$ОН = 1 - \frac{M_i}{M_{\text{факт.}}}, \quad (1)$$

где  $M_i$  – изгибающий момент в сечении от внешней нагрузки;  $M_{\text{факт.}}$  – изгибающий момент, воспринимаемый сечением.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Выполненный расчет показал, что величина остаточной несущей способности конструкций резервуара изменяется от 30,4% до 91,2%, что свидетельствует, с одной стороны, о высоких запасах их несущей способности, заложенных при проектировании, а с другой, возможного продления срока его эксплуатации.

Таблица 1

<b>Результаты расчетов остаточной несущей способности</b>					
Срок эксплуатации, лет	Класс бетона по прочности на сжатие	Диаметр арматуры / шаг, мм	$M_i$ , кН·м	$M_{факт.}$ , кН·м	Остаточная несущая способность, %
Днище					
60	B20	12/200	$M_{max} = 7,33$ $M_{min} = -7,74$	11,88	38,3 34,8
Стены 1-ого яруса					
60	B25	12/200 8/200	$M_x = 1,74$ $M_y = 8,27$	5,28 11,88	67,0 30,4
Стены 2-ого яруса					
60	B7,5	12/200 8/200	$M_x = 0,48$ $M_y = 1,97$	5,28 11,88	90,9 83,4
Колонны					
60	B20	14 – 4 шт.	$M = 1,76$	19,8	91,2
Плита покрытия					
60	B3,5	12/200	3,86 3,88	2,5	0

С целью продления дальнейшего срока эксплуатации резервуара был разработан проект нового монолитного железобетонного покрытия; при этом был предусмотрен демонтаж существующей аварийной монолитной плиты покрытия и капителей колонн.

Для повышения долговечности железобетонных конструкций рекомендуется выполнить утепление покрытия и стен резервуара на высоту 1,2 м от верхней отметки стен, что предотвратит дальнейшее разрушение бетона вследствие его попеременного замораживания и оттаивания. По утеплителю необходимо выполнить защиту от атмосферных и механических воздействий.

Проведенное обследование показало увеличение срока эксплуатации резервуара по сравнению с нормативным на 20 % при соблюдении следующих условий:

- качественное и в соответствии с проектом выполнение строительно-монтажных работ;
- повышение трещиностойкости стен резервуара посредством выполнения защитных покрытий внутренней поверхности стен;
- периодический контроль с проведением текущих ремонтов конструкций с целью устранения возникших дефектов и повреждений.

Демонтаж аварийной плиты покрытия с устройством новой монолитной железобетонной плиты покрытия позволит существенно продлить срок эксплуатации резервуара.

### **Библиографический список**

1. Курбанов З.А., Грушевский К.Е. Оценка технического состояния строительных конструкций сооружений противопожарных резервуаров: №2, №3 // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные Вопросы, открытия и достижения. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 частях. Том Часть 1. 2018. С. 47-50.

2. Каретникова О.А., Киселева С.Ю., Клешунов Я.Я. К вопросу обследования технического состояния типовых железобетонных подземных резервуаров // Образование и наука в современных условиях. 2015. №4(5). С. 198-201.

3. Дронов А.В. Особенности развития питтинговой коррозии стальной арматуры железобетонных изгибаемых элементов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 3. С. 32-36.

4. Крючков А.А. Напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных элементов сплошного и составного сечения на основе уточненной нелинейной методики расчета // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 82-91.

### **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ СТАЛИ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ**

**Стаивко К.А., студент,  
Чернявский О.С., ст. преп.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Металлические конструкции применяются сегодня во всех видах зданий и инженерных сооружений, особенно если необходимы значительные пролеты, высота и нагрузки. Потребность в металлических конструкциях чрезвычайно велика и непрерывно увеличивается.

Испытания на растяжение металла являются одними из наиболее важных методов механического контроля, которые применимы на практике [1]. Такие испытания проводятся в лабораторных условиях, благодаря специальному оборудованию. В результате испытаний на растяжение металла можно узнать наиболее подробную информацию о механических свойствах данного образца. Перед началом эксплуатации любой материал должен пройти данный метод контроля [2].

Одним из таких методов является метод испытания на растяжение стали в направлении толщины. Благодаря данному методу можно

выявить такие характеристики механических свойств, как:

- относительное удлинение после разрыва;
- относительное сужение после разрыва;
- временное сопротивление;
- предел текучести.

Для таких испытаний используется толстолистовой прокат с нормированным минимальным значением предела текучести не более  $600 \text{ Н/мм}^2$  и толщиной от 15 до 160 мм [3]. Отбор проб для изготовления образцов проводят на расстоянии половины ширины проката с любого конца листа или полосы. Пробы, заготовки и образцы для испытания, отбираемые в соответствии с требованиями приложений Б, В и Д ГОСТ 7564-97 [3], должны характеризовать вид проката. Требования по отбору проб, заготовок и образцов могут быть согласованы и в других нормативных документах на прокат. Размеры пробы должны быть достаточными для отбора образцов, необходимых для проведения конкретного испытания. Одним из условий является достаточное количество образцов в случае необходимости проведения повторных испытаний. Количество образцов, отбираемых для проведения испытаний, устанавливаются в нормативно-технической документации на металлопродукцию, либо необходимо испытать три образца от каждого контролируемого листа.

Требуемая форма образцов приведена на рис. 1 [3].

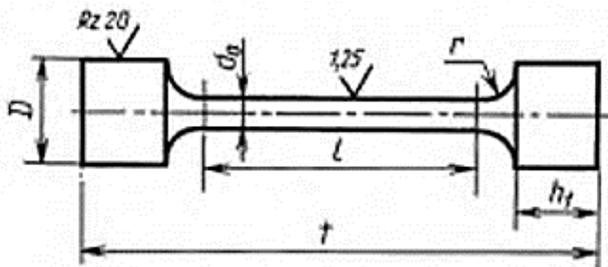


Рис. 1. Форма образца из цельной или сварной заготовки

Чаще всего длину образцов стараются привести близкой к толщине листа. Если толщина листа не позволяет изготовление образца из цельной заготовки, допускается соединение захватной части образца с рабочим методом сварки. Сварка выполняется любым доступным методом (наплавкой, сваркой трением, контактной сваркой, ручной дуговой сваркой), исключая изменение свойств испытуемого материала.

Во время проведения испытаний устанавливают скорость перемещения активного захвата испытательной машины, при которой скорость загрузки до начала текучести должна быть от 3 до 30 Н/мм<sup>2</sup>·с. Относительное удлинение образца устанавливают с помощью формулы (1).

$$\delta z = \frac{(lk-l) \cdot 100}{l} \quad (1)$$

где  $l$  – рабочая расчетная длина образца, мм;  $l_k$  - длина между кернами или другими метками, мм.

Также величина относительного удлинения может быть определена с помощью микропроцессоров [4]. Величину относительного удлинения необходимо указывать с кратностью образца.

Относительное сужение образца после разрыва вычисляется в процентах с помощью формулы (2).

$$\Psi = \frac{(F_0 - F_k) \cdot 100}{F_0} \quad (2)$$

где  $F_0$  - начальная площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>;  $F_k$  – минимальная площадь поперечного сечения после разрыва, мм<sup>2</sup>.

Результаты испытаний будут считаться недействительными:

- при разрушении образца вне его рабочей части, а также в случае разрушения, вызванного производственными дефектами сварных образцов;

- при разрыве образца по кернам (рискам), если при этом какая-либо характеристика механических свойств не отвечает установленным требованиям в нормативно-технической документации на металлопродукцию;

- при разрыве образца в захватах испытательной машины или за пределами расчетной длины образца (при определении относительного равномерного удлинения  $dp$  и удлинения при разрыве  $d$ );

- при разрушении образца благодаря дефектам металлургического производства.

Если при определении механических свойств в направлении толщины не достигается предписанное минимальное среднее значение или если отдельный результат испытания ниже предписанного минимального значения, испытания необходимо провести на трех новых образцах [5].

Среднее значение по результатам шести испытаний должно быть не ниже предписанного минимального среднего значения и ни одно отдельное значение из трех новых результатов не должно быть ниже предписанного для него минимального значения [5].

Испытания стали на осевое растяжение являются важнейшими для выявления различных характеристик механических свойств. Такие испытания помогают предотвратить внештатные и аварийные ситуации на производстве или при эксплуатации металлических конструкций, а также в строительном производстве [6].

### **Библиографический список**

1. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. Металлические конструкции: учебник для студ. учреждений высш. Проф. Образования.
2. Долбина К.И. Испытание металлов на статическое растяжение / XIV Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: эл. Сборник докладов [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – Ч. 6. – С. 148.
3. ГОСТ 7564-97 Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний.
4. ГОСТ 28870-90 Сталь. Методы испытания на растяжение толстолистового проката в направлении толщины.
5. Чернявский О.С. Технические вопросы применения общей сборки при изготовлении металлоконструкций. / Наука и инновации в строительстве: сб. материалов конф. IV Международной научно-практической конференции // Белгородский гос. технол. ун-т: Изд-во БГТУ, 2020. С. 287-292.
6. Методы испытания стали. Электронный ресурс: URL:- [https://metallz.ru/articles/metody\\_ispytaniya\\_stali/](https://metallz.ru/articles/metody_ispytaniya_stali/)

## **АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ФУНДАМЕНТОВ СПЛОШНОСТЕНЧАТЫХ АНТЕННЫХ ОПОР СОТОВОЙ СВЯЗИ**

**Тарануха Н.Л., д-р экон. наук., проф.,  
Новиков М.Ю., магистрант**

*Ижевский государственный технический университет  
им. М.Т. Калашикова, г. Ижевск, Россия*

В настоящее время возможность пользования качественной мобильной телефонной связью и мобильным Интернетом имеет важное значение, так как беспроводная связь является чуть ли не предметом первой необходимости для каждого современного человека [1]. Для стабильного покрытия и доступа широких слоев населения, проживающих на обширной территории нашей страны, к услугам сотовых операторов проектируются и монтируются различные антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: башни, мачты, опоры двойного назначения, металлические и железобетонные стойки-столбы с

площадками обслуживания для размещения антенно-фидерного оборудования [2]. С их помощью передающие устройства поднимают на высоту, увеличивая тем самым зону покрытия.

Однако добиться повышения качества сотовой связи и скорости мобильного Интернета можно лишь двумя путями: либо путем увеличения мощности радиоволнового излучения, передаваемого секторными антеннами, либо путем увеличения (сгущения) количества базовых станций сотовой связи [3].

Первый метод не всегда допустим из-за негативного воздействия сильного излучения от антенн на здоровье людей, находящихся в непосредственной близости к ним. В то же время при отдалении от базовой станции сигнал будет ухудшаться. В сельской местности это вполне возможно, но не в крупных городах.

Во втором же случае соблюдается баланс между качеством связи и безопасностью излучения для здоровья человека. Достигается это за счет сгущения сот, т.е. территорий, обслуживаемых одной базовой станцией. При этом нет необходимости в высокой мощности радиоволн, излучаемых антеннами, а сигнал распределяется равномерно по всей соте, качество связи и скорость Интернета примерно одинакова на всей ее территории. Такая тенденция к сгущению сети наблюдается в крупных городах.

В последнее время наибольшее число новых вводимых в строй антенных опор сотовой связи приходится на сплошностенчатые опоры: металлические и железобетонные стойки-столбы с надстройками (средняя высота 11-40 м) с малой площадью занимаемой территории, в то время как башни и мачты высотой более 50 м сооружаются в единичных экземплярах преимущественно в сельской местности.

Как правило, строительные конструкции наземной части выполняются по типовым проектам, в то время как фундаменты принимаются, исходя из инженерно-геологических условий строительной площадки, и всегда требуют индивидуального подхода.

Проектированию фундамента предшествует определение нагрузок, действующих на его верхний обрез от надземной части конструкции. Их величина зависит от высоты опоры, количества и площади проектируемого оборудования, подлежащего установке.

Особенностью антенных опор типа «столб» является наличие большого момента в основании, возникающего вследствие ветровых нагрузок, действующих на несущие конструкции и установленное оборудование. Помимо момента на фундамент действуют нормальная и поперечная силы. Поэтому требуется проведение расчетов на опрокидывание и деформации.

Исходя из схемы приложения и величины нагрузок осуществляется расчет и подбор фундамента для конкретных геологических условий. Среди существующих решений можно выделить ряд основных самых распространенных фундаментов для сплошнотенчатых антенных опор типа «столб»: стойка в грунте, буронабивная свая, фундамент на винтовых сваях. Остановимся на каждом из них.

Фундамент железобетонных опор СК-26 представляет собой нижнюю секцию железобетонной стойки, установленную в предварительно пробуренную скважину в грунте [4]. Глубина скважины определяется по результатам расчета в зависимости от характеристик грунта, полученных в ходе инженерно-геологических изысканий. Ширина устраиваемой скважины на 5-10 см превышает диаметр стойки. В верхней части, вблизи дневной поверхности, в траншеях взаимно перпендикулярно располагают ригели для усиления заделки, что отражено на рис. 1. Пазухи скважины и пространство у ригелей после их установки послойно уплотняемой песчано-гравийной смесью. Таким образом, стойку закрепляют в практически ненарушенном грунте.

Фундамент применим при хороших показателях характеристик грунта, отсутствии грунтовых вод в верхних инженерно-геологических слоях.

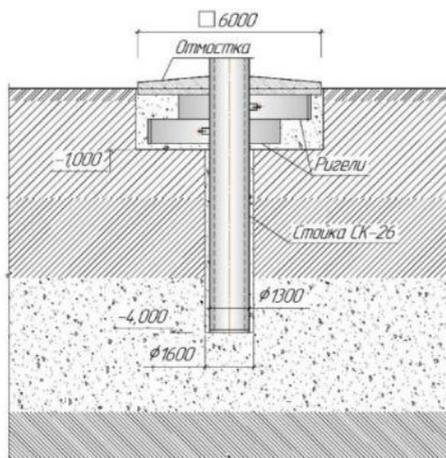


Рис. 1. Пример схемы устройства фундамента «стойка в грунте»

Данный тип фундамента нельзя устраивать на песчаных грунтах с высоким уровнем грунтовых вод из-за отсутствия возможности осуществления бурения скважины под стойку без вымывания грунта с

боковых стенок скважины и образования полостей, что является существенным недостатком. При эксплуатации фундамент не сможет воспринять момент и нагрузку от поперечной силы вследствие нарушения структуры грунта боковых стенок скважины. Кроме того, глубина заложения стойки ограничивается характеристиками имеющегося бурового оборудования.

Фундаментом металлических столбов, устанавливаемых непосредственно в грунт, служит металлическая закладная деталь – фундаментная секция столба из трубы, полость которой во время монтажа заполняется бетонной смесью, а также фундаментная плита, служащая противовесом, располагаемая вблизи дневной поверхности, что приведено на рис. 2. Глубина заложения, как и в случае с железобетонной стойкой, зависит от характеристик грунта. Под фундаментную секцию разрабатывается скважина диаметром на 5-10 см больше устанавливаемой трубы [5].

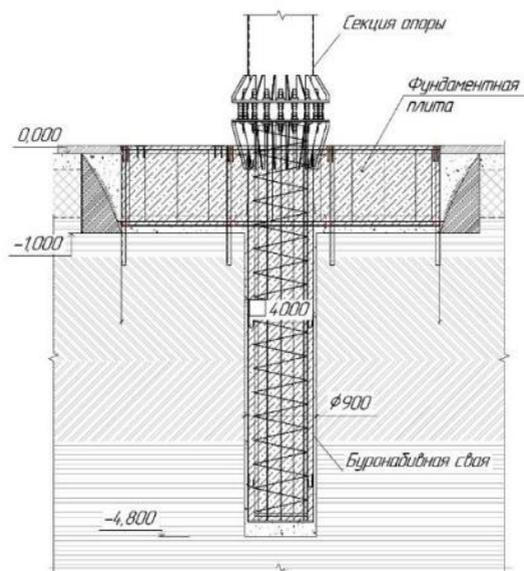


Рис. 2. Пример схемы устройства фундамента с буронабивной свай

Ограничения на использование данного типа фундамента аналогичны тем, которые имеются для стоек в грунте.

Фундамент на винтовых сваях применяется для металлических стоек. Решение нестандартное, адаптируемое под условия строительства. В данном случае нагрузка на грунт передается через

винтовые сваи, верхние концы которых объединены монолитным железобетонным ростверком, внутри которого находится анкерная группа, связывающая надземные конструкции столба и фундамент. Схема устройства фундамента изображена на рисунке 3. Требуемое количество свай определяется расчетом.

Данный тип устраивается там, где невозможно устройство рассмотренных ранее фундаментов. Однако поскольку сваи воспринимают все 3 вида нагрузок, приходящихся на верхний обрез фундамента, а также нагрузку от железобетонного ростверка, для обеспечения несущей способности требуется большое их количество, диаметр и длина, что существенно увеличивает стоимость строительства. Кроме того, металлические столбы поставляются от производителя укомплектованными фундаментной секцией, которую в данном случае приходится заменять на анкерную группу за счет собственных средств компании.

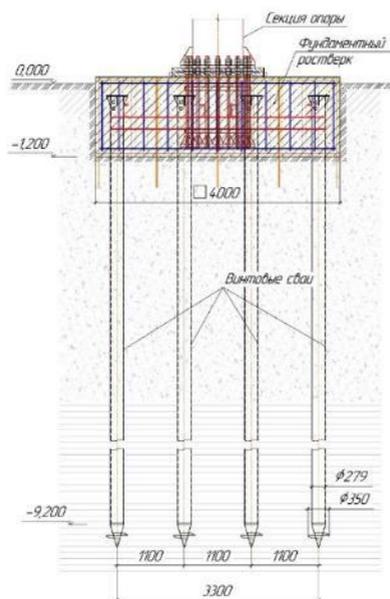


Рис. 3. Пример схемы устройства фундамента на винтовых сваях

Таким образом, основываясь на личном опыте и анализе литературы, авторами проведен анализ проектных решений фундаментов сплошнотенчатых антенных опор сотовой связи. Определено, что для установки и закрепления опор в грунте имеется 3

основных способа устройства: стойка в грунте, буронабивная свая и свайный фундамент. Выбор того или иного типа зависит от материала изготовления опоры и инженерно-геологических условий строительства объекта, под которые разрабатывается конкретный проект с расчетом глубины заложения либо числа и длины свай. Все приведенные решения активно применяются в ходе строительства объектов связи.

### **Библиографический список**

1. Закурдаева, О.Н. Повреждаемость антенно-мачтовых сооружений сотовой связи / О.Н. Закурдаева, А.В. Голиков. – Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – №4 (67). – С. 72-85. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35297673> (дата обращения: 18.03.2023).– Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

2. Горохов, Е.В. Анализ конструктивной формы антенных опор радиорелейной связи / Е.В. Горохов, В.Н. Васылев, А.М. Алехин, А.А. Ягмур. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2010. - №1 (Т. 16). – С. 41-50. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15102979> (дата обращения: 20.03.2023).– Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

3. Иванова, И.А. Способы размещения базовых станций сотовой связи в населенных пунктах / И.А. Иванова. – Текст : электронный // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы IX Международной научно-практической конференции, 2019. – С. 866-870. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39257342> (дата обращения: 22.03.2022). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

4. Щуцкий, В.Л. Исследование работы конических опор линий электропередач в качестве стоек для антенных башенных надстроек / В.Л. Щуцкий, А.П. Коробкин, А.С. Шевченко, С.А. Стельмах. – Текст : электронный // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. - №4 (Т. 9). - <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30080008> (дата обращения: 22.03.2023).– Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

5. Дыкова, А.И. Особенности устройства буронабивных свай / А.И. Дыкова, О.М. Преснов. – Текст : электронный // Точная наука. – 2022. - №125. - <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48122682> (дата обращения: 23.03.2023). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕТОНЕ

**Фролов Н.В., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Исследованию свойств бетона и его состоянию в железобетонных конструкциях при различных эксплуатационных воздействиях посвящены работы С.Н. Алексеева, Ю.М. Баженова, В.Н. Байкова, О.Я. Берга, В.М. Бондаренко, А.А. Гвоздева, Г.А. Гениева, Е.А. Гузеева, В.Б. Гусева, В.Т. Ерофеева, Н.И. Карпенко, В.И. Колчунова, Л.Р. Маиляна, В.М. Москвина, И.Г. Овчинникова, С.В. Федосова, Р.С. Санжаровского, В.П. Селяева, В.Ф. Степановой, А.Г. Тамразяна, Н.В. Федоровой, а также работы многих других российских и зарубежных ученых. Установлено, что бетон является нелинейно, неравновесно и необратимо деформируемым конструкционным материалом с изменяющимися во времени физико-механическими характеристиками.

Независимо от вида и режима воздействий на железобетонные конструкции выделяется несколько механизмов деградации бетона [1]:

- гетерогенный, при котором развитие деградационных процессов ограничивается поверхностными слоями бетона;
- гомогенный, при котором происходит равномерное развитие деградационных процессов по всему объему бетона;
- диффузионный, при котором происходит неравномерное развитие деградационных процессов по всему объему бетона.

Подобие механизмов деградации позволяет создавать общие модели процессов, возникающих при длительных силовых и средовых воздействиях.

Коррозионные процессы в бетоне возможны при эксплуатации железобетонных конструкций в агрессивных средах, которые в большинстве своем имеют жидкое или газообразное (с повышенной влажностью) физическое состояние. Наибольшую опасность несут в себе жидкие агрессивные среды.

Согласно общепринятой классификации В.М. Москвина коррозия бетона в жидких средах имеет три основных вида:

- коррозия I - го вида отражает процессы, возникающие в бетоне при воздействии мягких жидких сред, способных растворять и выносить части цементного камня из структуры бетона;
- коррозия II - го вида отражает процессы, возникающие в бетоне при воздействии жидких сред, содержащих агрессивные вещества, которые вступают в химические реакции с компонентами цементного камня. Образующиеся в результате соединения или легко растворимы и выносятся, или остаются в структуре бетона в виде аморфной массы;

– коррозия III - го вида отражает процессы, возникающие в бетоне при воздействии жидких агрессивных сред, при развитии которых происходит накопление и кристаллизация малорастворимых солей, создающих внутренние напряжения в структуре бетона, что может приводить к трещинообразованию.

В реальности коррозионные процессы только одного вида протекает редко, но всегда можно выделить преобладающее действие какого-либо вида, а затем учесть роль сопутствующих процессов.

Во взаимодействии агрессивной среды с бетоном можно выделить два основных процесса: перенос агрессии в структуре бетона и химическая реакция между компонентами среды и цементного камня. Как показывают исследования [2], скорость первого процесса гораздо меньше, поэтому именно он определяет интенсивность коррозии бетона. Следовательно, чем меньше проницаемость бетона, тем медленнее развиваются коррозионные процессы по объему композита.

Коррозионные процессы негативно изменяют во времени деформативно-прочностные свойства бетона. Количественной мерой коррозии бетона является глубина его нейтрализации – расстояние от поверхности железобетонной конструкции до границы коррозионного фронта. Еще эту величину называют глубинным показателем. Таким образом, принимается допущение о том, что коррозионный фронт в своем направлении разделяет сечение бетона на поврежденную и неповрежденную (здоровую) части.

Существует несколько подходов к моделированию кинетики продвижения коррозионных процессов в бетоне.

Многие математические модели, описывающие перенос агрессивной среды в структуре бетона, основываются на законах диффузии Фика. В случае, когда начальная концентрация агрессивной среды в бетоне равна нулю, а коэффициент диффузии  $D$  и поверхностная концентрация  $c_0$  постоянны, аналитическое решение второго закона Фика имеет вид:

$$c(x, t) = c_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right), \quad (1)$$

где  $c(x, t)$  – концентрация агрессивной среды на расстоянии от поверхности бетона  $x$  в момент времени  $t$ ;  $\operatorname{erf}$  – функция ошибок Гаусса.

В работе [3] описаны математические модели коррозионных процессов в бетоне, разработанные под руководством В.С. Федосова. Эти модели определяются краевой задачей массопроводности, рассматривая начальные и граничные условия. Получены сложные выражения, позволяющие рассчитывать концентрацию свободного гидроксида кальция в твердой и жидкой фазах. В конечном итоге это позволяет с большой точностью прогнозировать глубину нейтрализации бетона.

В более простых случаях, имеющиеся математические модели

такого типа сводятся к выражению:

$$\delta = kt^\gamma, \quad (2)$$

где  $\delta$  – глубина нейтрализации бетона;  $k$  – константа кинетики коррозионных повреждений;  $\gamma$  – степенной показатель.

В работах И.Г. Овчинникова и его учеников [4] разработаны математические модели, в которых агрессивная среда переносится в бетоне не по закону диффузии, а размытым фронтом:

$$c(x, t) = \begin{cases} 0, & x > \delta(t) \\ c_0 \left(1 - \alpha \frac{x}{\delta(t)} + \beta \frac{x^2}{\delta(t)^2}\right), & x \leq \delta(t) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $c_0$  – концентрация агрессивной среды на поверхности бетона;  $\alpha$ ,  $\beta$  – коэффициенты, определяемые из граничных условий;  $\delta(t)$  – функция переноса агрессивной среды в бетоне.

По предложению В.М. Бондаренко [5] независимо от вида агрессивной среды процесс однонаправленного продвижения фронта коррозионных повреждений вглубь бетона во времени может проходить по трем кинетическим вариантам:

- первый – кольматационный, иначе затухающий, который характеризуется постепенной остановкой и обнулением коррозионных повреждений в толще бетона конструкции (для эксплуатируемых железобетонных конструкций является основным);

- второй – фильтрационный, при котором агрессивная среда полностью проходит толщу бетона конструкции и выносит из нее образовавшиеся продукты коррозии;

- третий – лавинный, при котором агрессивная среда выносит за пределы конструкции компоненты цементного камня и наступает полное разрушение.

Для всех этих вариантов кинетика неравновесных процессов коррозионных повреждений бетона описывается дифференциальным уравнением, вытекающим из закона действующих масс Гульдберга-Вааге [6, 7]:

$$\frac{d\Delta\delta(t, t_0)}{dt} = -\alpha[\Delta\delta(t, t_0)]^m, \quad (4)$$

$$\Delta\delta(t, t_0) = \frac{\delta_{кр}(t_0) - \delta(t, t_0)}{\delta_{кр}(t_0)} = 1 - \frac{\delta(t, t_0)}{\delta_{кр}(t_0)}, \quad (5)$$

где  $\Delta\delta$  – относительный дефицит текущего значения глубины коррозионных повреждений  $\delta$ ;  $t_0$  – время, соответствующее началу наблюдений;  $t$  – текущее время;  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\delta_{кр}$  – параметры кинетики коррозионных повреждений бетона, получаемые из экспериментальных данных.

Снижение прочности бетона вследствие его коррозии общепринято оценивать с использованием коэффициента химической стойкости:

$$K_{\text{х.с.}} = \frac{R_b(t)}{R_b(t_0)}. \quad (6)$$

Прогнозирование величины коэффициента химической стойкости (или как его еще называют коэффициентом сохранения) позволяет находить значение прочности коррозионно-поврежденного бетона в необходимый момент времени.

Стоит отметить, что многие разработанные модели деградационных процессов прошли верификацию только на малых образцах бетона в виде кубов и призм, поэтому требуют проведения дополнительных экспериментальных исследований состояния бетона в элементах железобетонных конструкций при длительных силовых и средовых воздействиях [8].

### **Библиографический список**

1. Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Кечуткина Е.Л. Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградационных функций // Жилищное строительство. 2014. № 12. С. 8-18.
2. Рахимбаев Ш.М. Процессы кольматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. 2013. № 4. С. 30.
3. Румянцева В.Е., Логинова С.А. Математическое моделирование коррозионных процессов бетона и железобетона // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2015. № 1 (55). С. 235-244.
4. Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Моделирование кинетики деформирования армированных конструкций в специальных эксплуатационных средах: моногр. Пенза: ПГУАС, 2014. 280 с.
5. Бондаренко В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде // Бетон и железобетон. 2008. № 2. С. 25-27.
6. Бондаренко В.М., Карпенко Н.И. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона // Academia. Архитектура и строительство. 2007. № 4. С. 56-59.
7. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
8. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов А.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Смоляго Е.Г. Техническое состояние сборных балочных перекрытий с применением керамзитобетонных пустотных плит // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 35-42.

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ С НАНОСТРУКТУРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

**Чибрикин Д.А.**, канд. техн. наук, ассистент,  
**Рева Д.В.**, аспирант,  
**Лукин М.В.**, канд. техн. наук, доц.  
*Владимирский государственный университет  
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

Вопрос усиления элементов деревянных конструкций при создании технических и технологических решений, в результате которых увеличивается несущая способность деревянных конструкций без применения внешних систем усиления, сохраняя первоначальный внешний вид является актуальной задачей.

Предполагается, что увеличение несущей способности элементов деревянных конструкций модифицируется компонентным составом полимерной композиции с углеродным наполнителем под избыточным давлением импульсного воздействия.

Технологическое решение модифицированных деревянных балок заключается в модификации опорных зон компонентным составом с углеродным наполнителем способом импульсного воздействия избыточного давления и состоит из следующих процессов: подготовительного, основного, заключительного (рис. 1).

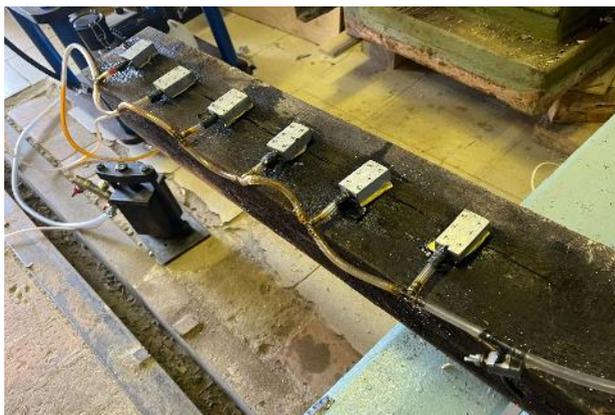


Рис.1. Процесс модификации

Применение углеродных нанотрубок, согласно результатам исследования, действительно повышает физико-механические свойства материала. В результате их применения получают композитные

материалы с уникальными свойствами. Применение углеродных нанотрубок в качестве наполнителя для компонентной композиции позволяет создать равномерное распределение в структуре материала и заполнить имеющиеся пустоты. Модификация конструкции - один из способов повышения прочностных характеристик, который позволяет не только создавать новые конструкции в зданиях и сооружениях, но и продлевать срок службы существующих конструкций, а также сохранять уникальные конструкции в объектах культурного наследия. В этой работе был исследован новый способ модификации конструкций, который заключается в новом технологическом режиме, при котором закладываются определенные параметры. В результате были установлены параметры давления и времени, в результате чего повышаются прочностные свойства. Особенностью данного способа модификации является возможность применения данной технологии не только на производстве, но и непосредственно на строительной площадке. Благодаря небольшой площади размещения оборудования существует возможность широкого применения данного технологического метода для укрепления конструкций. Компонентный состав для модификации по результатам исследования показал положительные результаты. В результате испытаний образцов древесины были установлены количественные компоненты состава для модификации древесины. В качестве основы была выбрана смола горячего отверждения, поскольку при модификации она обладала наибольшими проникающими свойствами в структуру древесины по сравнению с другими композициями. Для заполнения пустот в структуре древесины использовались углеродные нанотрубки. В результате проникновения в структуру древесины в течение нескольких часов после модификации происходило отверждение и фиксация композиции в древесной матрице. Модификация балочных конструкций осуществлялась с помощью специально подобранного оборудования, которое могло бы дать желаемый результат. Основными компонентами этого оборудования были компрессионный двигатель и инжектор. Компрессионный двигатель был выбран с учетом требуемого давления (0,2-0,3 МПа) для введения компаунда в структуру древесины.

В настоящее время проводятся исследования с аналогичным направлением. Например, в работе [1, 2] авторы исследовали характер распределения углеродных нанотрубок в структуре компонентной композиции на основе метилметакрилата. Были изготовлены и испытаны стандартные образцы, модифицированные этим составом. В результате проведенных испытаний прочность увеличилась на 25-30% по сравнению с образцом без модификации. Другое исследование

связано с армированием опорных зон балок эпоксидным стекловолокном с углеродными нанотрубками в нем [3]. На образцах были проведены эксперименты на растяжение, и результатом стало то, что прочность модифицированных образцов была в два раза выше, чем у немодифицированных образцов. Перелом носил пластический характер. Другое исследование было направлено на изучение устойчивости древесных композитов к вредителям [4]. Результаты исследования показали, что обработка древесным композитом снизила воздействие вредителей на 75%. Также было проведено исследование, направленное на восстановление прочностных свойств древесины [5]. В качестве модификации была использована композиция на основе этиленгликоля, которой обрабатывали ель. Также исследуются другие способы модификации древесины [6, 7, 8]. Химическая модификация влияет на гидрофобность, гигроскопичность, цвет и долговечность. Обработка поверхности специальным покрытием повышает влагостойкость, что позволило создать экологически чистый материал с возможностью использования его на открытом воздухе. Также исследовалась способность создавать углеродные нанотрубки с определенными свойствами [9, 10]. С помощью сильного магнитного поля происходит выравнивание структуры углеродных нанотрубок в растворе мономера с последующей химической полимеризацией матрицы. В результате магнитного воздействия структура древесины была выровнена магнитным полем. Эти исследования демонстрируют, что данное направление является актуальным. В ходе проведенных исследований было установлено, что модификация увеличивает и восстанавливает несущую способность древесины. Также стоит отметить использование карбоновых лент, которые увеличивают несущую способность в зонах сжатия и растяжения балки.

Разработанное техническое решение по модификации деревянных балок, рекомендуется использовать при новом, капитальном строительстве, а также при реставрации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01637, <https://rscf.ru/project/22-29-01637/>.

### **Библиографический список**

1. Lisyatnikov, M., Sergeev, M., Chibrikin, D., Lukin, M. (2023). Pattern of Distribution of Carbon Nanotubes in the Matrix of Polymer Compositions for Wood Stabilization. Lecture Notes in Networks and Systems, 510, 799-807. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1\\_82/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_82/COVER)
2. Лукина, А.В. Исследование напряженно-деформированного

состояния композитных деревянных балок / А. В. Лукина, М. С. Сергеев // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2021 года / Курский государственный университет. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. – С. 183-190.

3. Lukin, M., Martynov, V., Rimshin, V., Aleksiiyevets, I. (2022). Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 182, 577-587. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_50)

4. Acosta, A.P., de Avila Delucis, R., Amico, S. C., Gatto, D. A. (2021). Fast-growing pine wood modified by a two-step treatment based on heating and in situ polymerization of polystyrene. *Construction and Building Materials*, 302, 124422. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMA>

5. Ermeydan, M.A. (2018). Modification of spruce wood by UV-crosslinked PEG hydrogels inside wood cell walls. *Reactive and Functional Polymers*, 131,100-106. <https://doi.Org/10.1016/J.REACT>

6. Guizani, C., Escudero Sanz, F. J., Jeguirim, M., Gadiou, R., Salvador, S. (2015). The effects of textural modifications on beech wood-char gasification rate under alternate atmospheres of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. *Fuel Processing Technology*, 138, 687-694. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2015.06>.

7. Kimura, T., Ago, H., Tobita, M., Ohshima, S., Kyotani, M., Yumura, M. (2002). Polymer composites of carbon nanotubes aligned by a magnetic field. *Advanced Materials*, 14(19), 1380-1383. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20021002\)14:19<1380::AID-ADMA1380>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20021002)14:19<1380::AID-ADMA1380>3.0.CO;2-V)

8. Sergeev M. [и др.]. Stress–Strain State of a Wood-Glued Three-Span Beam with Layer-By-Layer Modification / М. Sergeev, А. Lukina, N. Zdravovic, D. Reva, 2022. 485–491 с.

9. Кузьмин, С.А. Повышение эксплуатационных свойств конструкционных материалов / С. А. Кузьмин, Д. А. Красильников, Д. Д. Красильникова // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2022. – № 1(87). – С. 33-43. – DOI 10.25587/SVFU.2022.96.65.004.

10. Gribanov A.S. [и др.]. CFRP composites for strengthening wooden structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020.* №896 (1).

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ СТОЕК ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Шорстов Р.А., молодой ученый

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Решению задач устойчивости сжатых элементов с переменным сечением по длине посвящено множество работ, в том числе [1-5]. В действующих российских нормах проектирования деревянных конструкций (СП 64.13330.2017) для сжатых элементов с изменяющейся по длине высотой поперечного сечения переменная жесткость учитывается коэффициентом  $k_{жсN}$ , который для различных вариантов закрепления предлагается определять по одной и той же расчетной формуле, с чем нельзя согласиться.

Целью данной работы является совершенствование нормативных методик расчета устойчивости сжатых конструктивных элементов из дерева с переменным по длине сечением.

Рассматривается центрально сжатая шарнирно закрепленная по концам стойка с прямоугольным поперечным сечением (рис. 1), высота которой изменяется по линейному закону. Закон изменения высоты можно записать в виде:

$$h(x) = h_0 \left( \beta + \frac{(1-\beta)x}{l} \right). \quad (1)$$

Считаем, что материал стойки линейно упругий. Для определения критической нагрузки воспользуемся дифференциальным уравнением потери устойчивости стержня:

$$EI(x) \frac{d^2 w}{dx^2} + Fw = 0 \quad (2)$$

с граничными условиями  $w(0) = w(l) = 0$ .

Чтобы сделать решение справедливым для произвольной геометрии стержня, введем безразмерную координату  $\xi = x/l$ ,  $\xi \in [0; 1]$ . Тогда выражение (1) примет вид:

$$h(x) = h_0 (\beta + (1-\beta)\xi) = h_0 \varphi(\xi). \quad (3)$$

В случае потери устойчивости в плоскости  $xz$  в уравнение (2) в качестве осевого момента инерции следует подставить момент инерции  $I_y$ , который определяется по формуле:

$$I_y(\xi) = \frac{bh^3}{12} = \frac{bh_0^3}{12} \varphi^3(\xi) = I_y^0 \varphi^3(\xi). \quad (4)$$

Переход от производной по  $x$  к производной по  $\xi$  в уравнении (2) осуществляется следующим образом:

$$\frac{dw}{dx} = \frac{dw}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{l} \frac{dw}{d\xi}; \quad \frac{d^2w}{dx^2} = \frac{1}{l^2} \frac{d^2w}{d\xi^2}. \quad (5)$$

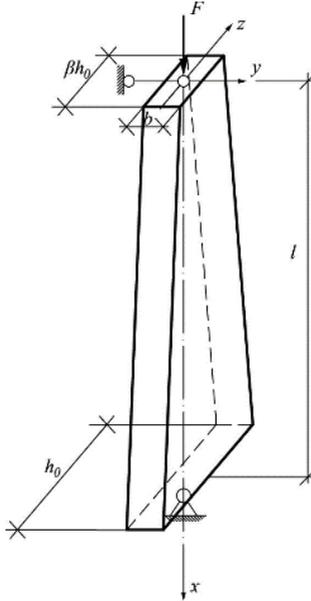


Рис. 1. Расчетная схема

Подставляя (5) и (4) в (2), получим:

$$EI_y^0 \varphi^3(\xi) \frac{1}{l^2} \frac{d^2w}{d\xi^2} + Fw = 0 \quad (6)$$

или

$$\varphi^3(\xi) \frac{d^2w}{d\xi^2} + \lambda w = 0, \quad (7)$$

где  $\lambda = \frac{Fl^2}{EI_y^0}$ .

Критическая сила выражается через безразмерный параметр  $\lambda$  как:

$$F_{cr} = \frac{\lambda EI_y^0}{l^2}. \quad (8)$$

Эта формула по структуре совпадает с формулой Эйлера. Для  $EI(x) = \text{const}$ , т. е.  $\beta = 1$ :  $\lambda = \pi^2$ .

В действующих российских стандартах проектирования деревянных конструкций переменная жесткость стержня учитывается коэффициентом  $k_{жсN}$ , который зависит от параметра  $\beta$ . Этот коэффициент для шарнирно закрепленного на концах стержня выражается через параметр  $\lambda$  следующим образом:

$$k_{жсN}(\beta) = \frac{\lambda(\beta)}{\pi^2}. \quad (9)$$

Для решения уравнения (7) воспользуемся методом конечных разностей. В результате задача сведется к системе линейных алгебраических уравнений:

$$([A] + \lambda[E])\{X\} = 0, \quad (10)$$

где  $[A]$  – матрица коэффициентов,  $[E]$  – единичная матрица,  $\{X\}$  – вектор узловых прогибов.

Система уравнений (10) однородна и имеет ненулевое решение только в том случае, если ее определитель равен нулю:

$$|[A] + \lambda[E]| = 0. \quad (11)$$

Параметр  $\lambda$ , соответствующий критической нагрузке, представляет собой минимальное собственное значение матрицы  $[A]$ , взятое со знаком минус.

Расчет был выполнен в среде MATLAB.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента  $k_{жсN}$  от параметра  $\beta$ , полученная в результате расчета. Штриховая линия соответствует формуле, представленной в российских нормах:

$$k_{жсN} = (0,4 + 0,6\beta)\beta. \quad (12)$$

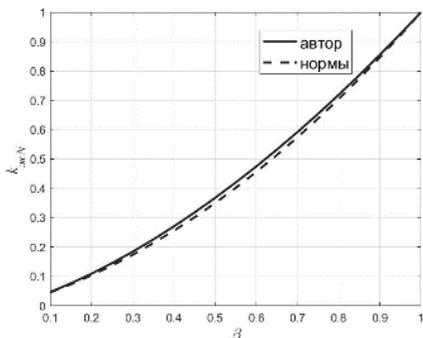


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $k_{эсN}$  от параметра  $\beta$  при потере устойчивости в плоскости  $xz$

Наибольшее расхождение результатов составляет 5,7 % при  $\beta = 0,3$ . Для зависимости, показанной на рис. 2 выбрана уточненная аппроксимирующая формула:

$$k_{эсN}(\beta) = 0,5116\beta^2 + 0,5004\beta - 0,0103. \quad (13)$$

#### Библиографический список

1. Кулинич И.И., Литвинов В.В., Блягоз А.М. Выпучивание стеклопластиковых стержней переменной жесткости //Новые технологии. – 2012. – №. 4. – С. 75-81.
2. Языев Б.М., Андреев В.И // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 23. – №. 4-2. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1259>
3. Козельская М.Ю., Чепурненко А.С., Литвинов С.В. Применение метода Галеркина при расчете на устойчивость сжатых стержней с учетом ползучести //Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25. – №. 2 (25). – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1714>
4. Леонтьевская Е.Д., Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е. Оптимизация формы поперечного сечения стержней при ограничениях по устойчивости и прочности на сжатие // Избранные доклады 62-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. – 2016. – С. 41-44.
5. Чепурненко А.С., Языев Б.М. Оптимизация формы поперечного сечения сжатых стержней из условия устойчивости // Научное обозрение. – 2012. – № 6. – С. 202-204.

## **НАПРАВЛЕНИЕ 2 ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **РАСЧЕТ СТОЙКИ ЛСТК ИЗ СПАРЕННЫХ СИГМА ПРОФИЛЕЙ В ПК ANSYS**

**Гринчевский Г.С., магистрант,  
Корсун Н.Д., канд. техн. наук, доц.**  
*Тюменский индустриальный  
университет, г.Тюмень, Россия*

В России проектирование тонкостенных элементов производится согласно СП260.1325800.2016 [1]. Первоисточником данного документа является европейские нормы [2]. В основе еврокода и, соответственно, СП РФ лежит метод редуцирования поверхности. Под воздействием внешней нагрузки происходит потеря устойчивости части сечения. Поэтому ЛСТК относится к конструкциям 4 класса – потеря устойчивости части сечения происходит раньше, чем достигается предел несущей способности, выпучивание части сечения допускается.

Вопросы прочности и устойчивости ЛСТК конструкций в РФ занимались Ал Али [5], Кикоть А.А. [6], Туснин А.Р. [4]

Помимо методики еврокода существует AISI – свод правил проектирования ЛСТК для Америки, Канады и Мексики [3]. В AISI допускается расчет тремя способами: ASD, LRFD, LSD. По большому счету, данные методы отличаются коэффициентами сбора нагрузок и коэффициентами запаса. Так же возможно проводить расчет по прямому прочностному методу (DSM).

Исследование факторов, влияющих на работу тонкостенного элемента описано в публикации [7], в том числе влияние на работу сжатого стержня местных раскреплений (ребер). В работе [8] построена модель стойки из С-профиля LC 100×70×15×2.70 с укреплением полок. В статье описаны формы потери устойчивости для локальной и глобальной формы потери устойчивости, производится сопоставление результатов с натурными испытаниями и программой CUFSM. Описаны количественные соотношения форм потерь устойчивости (глобальная/кручение/локальная). В работе [9] проводится испытания и моделирование колонн с сечениями: сигма профиль, профиль с укреплением по стенке, профиль с раскреплением полки. Производится сравнение результатов конечно – элементной модели (ABAQUS), прямого прочностного метода и эксперимента. Работа [10]

описывает аналитическую модель к определению несущей способности тонкостенных элементов. Рассмотрены различные ситуации: симметрия, асимметрия, способы раскрепления. Идет сравнение предложенных допущений с AISI.

Модель представляет из себя шарнирно опертую стойку с центрально приложенным усилием. Из плоскости замоделировано раскрепление с шагом 1200 мм. Геометрия импортирована из Autocad в Space Claim.

Настройки модели Static Structural. Сначала необходимо создать 6 материалов в разделе Engineering Data. Марка стали по С350 по ГОСТ 52246-2016. Характеристики представлены на рис. 1.

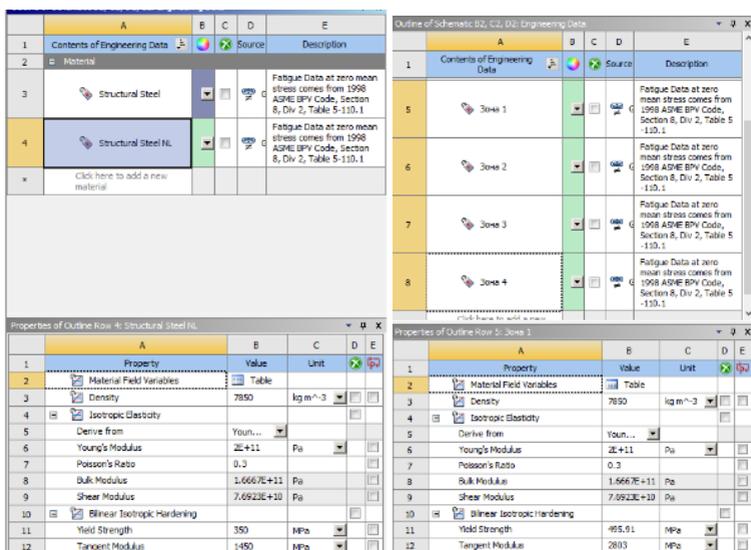


Рис. 1. Материал для линейного расчета, материал для нелинейного расчета, материал для зон

Зоны 1-4 отличаются друг от друга двумя параметрами – пределом пропорциональности (Yield Strength) и модулем упругости для билинейной модели (Tangent modulus)

Зона 1 – Yield Strength = 495.91 МПа, Tangent modulus = 2803 МПа;

Зона 2 – Yield Strength = 470.31 МПа, Tangent modulus = 2616 МПа;

Зона 3 – Yield Strength = 430.25 МПа, Tangent modulus = 2430 МПа;

Зона 4 – Yield Strength = 350 МПа, Tangent modulus = 1962 МПа;

Доработка модели проводится в модуле Space Claim. Моделирование осуществляется при помощи поверхности, с

последующей конвертацией Surface в Shell. В однородной модели достаточно задать толщину профиле Thickness. При делении на зоны, необходимо каждый профиль собрать в собственный компонент, назначив в свойствах Share Topology – Share. Таким образом, каждая зона не будет считаться отдельной при генерации сетки, отпадет необходимость каждый раз в Connections добавлять соединения зон Bonded. Генерировать Mesh необходимо через настройки Batch connections. Для их активации, необходимо отключить функцию Use Adaptive Sizing.

Затем необходимо задать раскрепление конструкции (рис. 2). Раскрепление задается при помощи команды Remote displacement. Для расчета на устойчивость (модуль Evgenvalue Buckling) сначала необходимо слегка сдеформировать конструкцию. Расчет на устойчивость показывает критическую силу и форму потери устойчивости. Критическая сила = Load multiplier × Force. Поэтому для простоты следует задавать  $F=1$  Н.

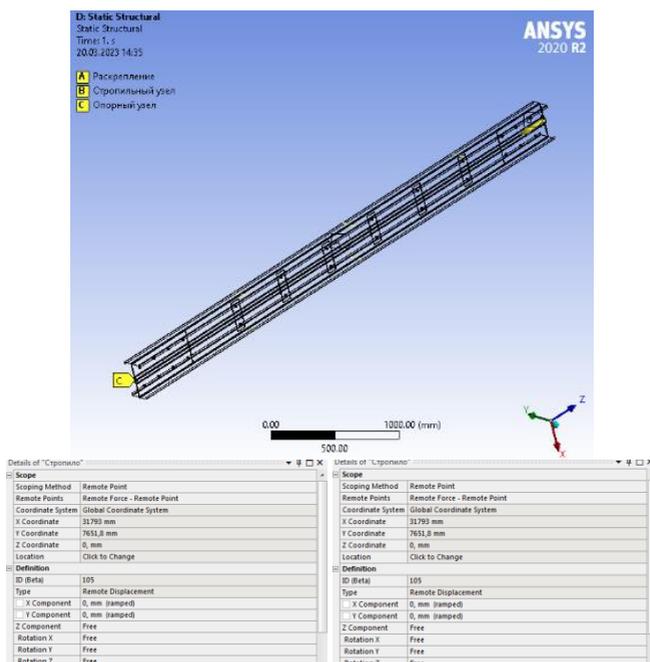


Рис.2. Раскрепление стойки

В итоге после расчета получены следующие результаты (рис. 3, 4):

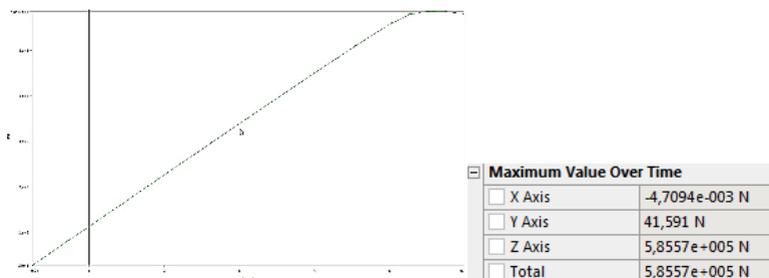


Рис. 3. Зависимость усилия в сечении от нагрузки, заданной через деформации с нелинейными свойствами материала и без разбиения по зонам

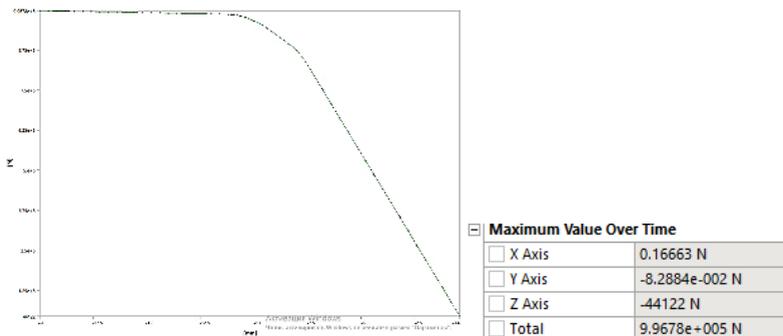


Рис. 4. Зависимость усилия в сечении от нагрузки, заданной через деформации для профиля с нелинейными свойствами материала и разбиением по зонам

Критические силы исходя из приведенных выше графиков: для нелинейного расчета  $F = 58.56$  т при деформации 6 мм, для нелинейного расчета с учетом перераспределения прочностных характеристик  $F = 99.68$  т при деформации 20 мм. прирост несущей способности – 70 %. Учет зон упрочнения дает существенный прирост в несущей способности при приложении штамповой нагрузки.

### Библиографический список

1. СП 260.1325800.2017 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов/ Минстрой России. – М. 2017 – 124 с.
2. EN 1993-1-3. Eurocode 3: проектирование стальных конструкций/ Евросоюз, CEN – 2005 – 93 с.
3. AISI S100-2007 Рекомендации к проектированию ЛСТК элементов для Северной Америки /Североамериканский институт исследования стали и чугуна, 2007.

4. Туснин А.Р. Стальной каркас малоэтажного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 18-22
5. Ал Али, М. Расчет сопротивления сжатых элементов легких стальных тонкостенных конструкций закрытого профиля. Часть 1. / М. Ал Али, М. Том-ко, М. Бадак // Инженерно-строительный журнал. - 2013. - № 5. - С. 38-43.
6. Кикоть А.А., Григорьев В.В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб/ Magazine of Civil Engineering, №1, 2013
7. LRFД и LSD факторы сопротивления для сжатых элементов из ЛСТК./ Политехнический университет Верджинии. – 2010. – 135 с.
8. João Alfredo de Lazzari, Eduardo de Miranda Batista. Общая потеря устойчивости ЛСТК, укрепленного ребрами./ Латиноамериканский журнал строительных конструкций. – 2020
9. Деформационное выпучивание промежуточной холодногнутой стальной кромочной секции швеллера с различными ребрами жесткости при сжатии/ International Journal of Advanced Structural Engineering (2018)
10. Роберт С. Глауз, П. Потеря устойчивости при изгибе и кручении холодногнутых стальных колонн общего назначения с неравной нераскрепленной длиной / Исследования структурной стабильности, Сан-Антонио, Техас, 21–24 марта 2017 г.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MIDAS CIVIL**

**Дронов Н.В., магистрант,  
Еремин А.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Воронежский государственный технический  
университет, г. Воронеж, Россия*

Программный комплекс Midas Civil позволяет выполнять расчет пролетного строения мостового сооружения за счет концепции программы, которая заключается в автоматизации проверок вычислений. Последовательность выполнения расчета пролетного строения имеет подражает под собой создание конечно-элементной схемы, позволяющей произвести расчет модели пролетного строения. В программный комплекс уже занесены значения и исходные данные, необходимые для назначения сочетаний нагрузок и их проверок, а также возможность анализа полученных результатов [4].

Для наглядности выполнен расчет пролетного строения с

расчетной длиной пролета  $l_p=20,4$  м под подвижные нагрузки АК-14 и НК-14 при помощи Midas Civil.

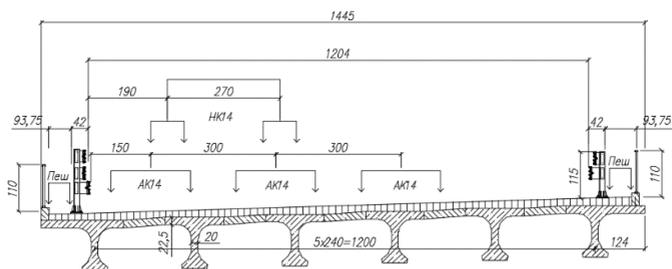


Рис. 1. Схема пролета моста. Размеры указаны в см

Пролетное строение, представленное на рис. 1 состоит из шести объединенных железобетонных балок. Но в программном комплексе Midas Civil схема пролетного строения показано в виде схемы, состоящей из продольных и поперечных элементов (стержней), которые объединяются узлами. Данная расчетная схема представляет собой сложную стержневую конструкцию, воспринимающую все виды постоянных и временных нагрузок. Схему из стержневых элементов можно смоделировать как в самом Midas Civil, так и импортировать из программы AutoCad.

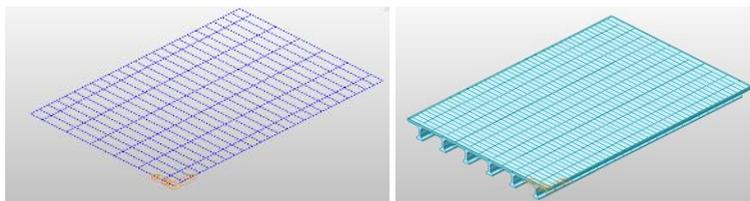


Рис. 2. Общий вид расчетной схемы в ПК Midas Civil

Программный комплекс Midas Civil «упрощает» (путем замены более сложных элементов простыми) модель сооружения, что позволяет определить усилия на основе метода конечных элементов. При моделировании пролетного строения задаются параметры главных балок, служащие для определения их расчетных сочетаний усилий [2].

Сечение главных балок пролетного строения, имеющие все необходимые геометрические параметры, задается при помощи инструмента «Свойства сечения». Здесь же указываются параметры и для плиты проезжей части пролетного строения.

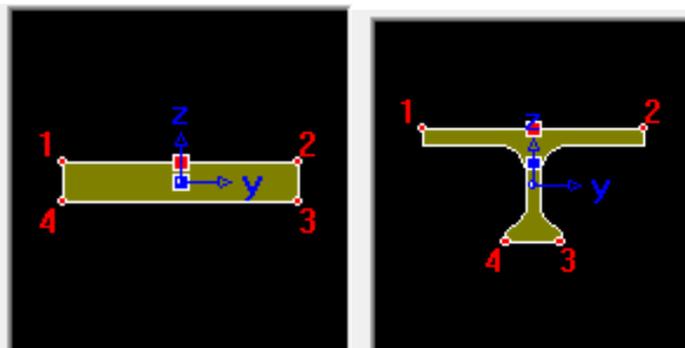


Рис. 3. Сечение плиты проезжей части и главных балок пролетного строения

После того, как были внесены геометрические параметры сечений, им присваиваются свойства присущего им материала. В случае с данным пролетным строением, актуальным будет бетон марки В30. Физические данные материала задается при помощи инструмента «Свойства материала». Для поперечных элементов главных балок также задается бетон марки В30, но уже без учета его веса.

После того, как были назначены необходимые физические свойства материала и геометрическое сечение элементов схемы, приступаем к созданию степени свободы опорных частей при помощи инструмента «Граничные условия».

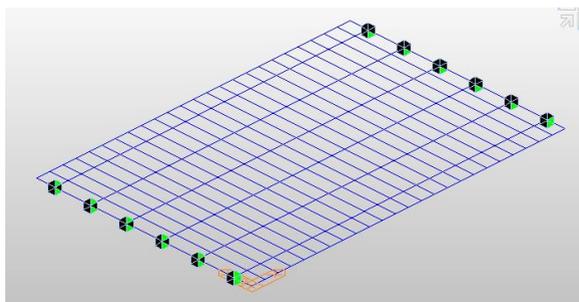


Рис. 4. Граничные условия пролетного строения

Для того, чтобы произвести расчет пролетного строения, нужно использовать постоянные и временные нагрузки.

Нагрузки, с которыми выполняется расчет пролетного строения, делятся на постоянные статические (собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений) и временные

подвижные (тележки АК и НК, пешеходная нагрузка).

Программный комплекс Midas Civil для вычисления усилий использует данные о расположении полос нагрузки, а затем автоматически строит и загружает линии и поверхности. Это позволяет определить невыгодные положения временных подвижных нагрузок для каждого элемента стержневой схемы.

При расчете данного пролетного строения были использованы следующие сочетания постоянных и временных нагрузок.

I сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, нормативная нагрузка от тележки АК-14 и пешеходов.

II сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, расчетная нагрузка от тележки АК-14 и пешеходов.

III сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, нагрузка от тележки НК-14 [1].

После того, как были заданы выше перечисленные постоянные и временные нагрузки, готовую схему пролетного строения можно запускать на расчет.

Результат расчета в программном комплексе Midas Civil содержит значения напряжений и усилий для каждого элемента схемы пролетного строения [5].

У данного пролетного строения наибольшие максимальные усилия возникают в середине пролета от воздействий II-го сочетания нагрузок.

Максимальное значение опорной реакции от собственного веса и временной подвижной нагрузки составляет: 83,0 т

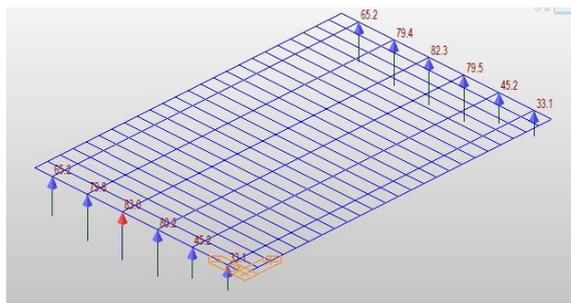


Рис. 5. Реакции в постоянных опорных частях от собственного веса и временной подвижной нагрузки (т)



Рис. 6. Эпюра момента  $M_y$  от воздействий II - го сочетания нагрузок

По результатам расчета получаем значение максимального момента  $M_U = 352,50 \text{ т}\cdot\text{м}$

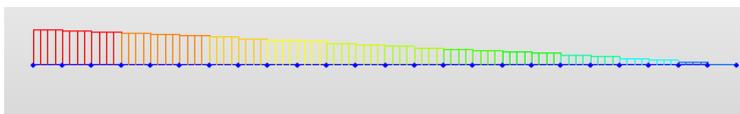


Рис. 7. Эпюра максимальных продольных усилий от воздействий II - го сочетания нагрузок

По результатам расчета получаем значение максимального продольного усилия  $F_z = 69,72 \text{ т}\cdot\text{м}$

Программный комплекс Midas Civil позволяет проверять сечения элементов по прочности и выносливости в соответствии с требуемыми российскими нормативами. Результаты расчета данного пролетного строения проходят все проверки с запасом, включая значения самых нагруженных элементов [3].

### Библиографический список

1. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*».
2. Рудых О.Л., Соколов Г.П., Пахомов В.Л. Введение в нелинейную строительную механику. – М.: Издательство АСВ, 1998.
3. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.И. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам? // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012.
4. Петров В.А. Как выбрать программу для расчета мостов // Дороги. Красная линия. 2014.
5. Быкова Н.М. Проектирование мостов. Расчет пролетного строения балочного железобетонного моста: учеб. пособие. Иркутск: ИрГУПС, 2014.

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LIDAR

**Ельчищева Т.Ф., канд. техн. наук, доц.,  
Черных А.В., магистрант, лаборант**  
*Тамбовский государственный технический  
университет, г. Тамбов, Россия*

На сегодняшний день программное обеспечение и новейшие технологии являются одними из главных формирующих любых проектов в инженерно-технических и художественно-эстетических сферах. Результаты профессиональной деятельности должны быть представлены на физических носителях. В сравнении с бумажным носителем, отражающим чертежи и перспективные (и/или изометрические) изображения, 3D-воспроизведение моделей программами САПР и свободными алгоритмичными программами дает полное представление об объекте проектирования и помогает исключить вероятные ошибки [4].

В области архитектуры и градостроительства, дизайна, инженерии и строительства все чаще появляются вспомогательные технологии, расширяющие границы проектирования любых проектов. Например, одной из перспективных технологий является 3D-сканирование с помощью LiDAR (название технологии является аббревиатурой от «Light Detection and Ranging», англ.), что в переводе означает «обнаружение и определение дальности с помощью света». Данная технология для воспроизведения сканируемого объекта использует явление поглощения и рассеивания света в оптически прозрачных средах, при которых происходит получение и обработка информации о дальности вершин с помощью активной оптической системы [3]. Луч, происходящий из источника сканирования, прописывает дальность соприкосновения с вершиной объекта, возвращается назад и прописывается в систему координат XYZ. Информация о полученных вершинах формирует облако точек, расположенных на определенных расстояниях, равных расстояниям в отсканированном объекте. По завершению сканирования полученные данные отражаются как единый 3D-объект, где облако точек связано между собой в полигональную сетку (совокупность из вершин, ребер и граней) [1].

В настоящее время технологию LiDAR интегрируют в мобильные устройства и другие пользовательские гаджеты. Так, в мобильных устройствах Apple iPhone линейки Pro, начиная с 12 Pro, в систему камер добавлен сканер. Разработчики программного обеспечения (ПО) сформировали множество программ для пользователей, с помощью которых можно отсканировать любой необходимый объект,

расположенный в пространстве. У всех ПО процесс воспроизведения модели идентичен, отличие заключается в качестве самого программного обеспечения и его интерфейса. Одно из удачных – «Polycam». ПО является бесплатным для загрузки пользователем, качественно и с минимальными погрешностями прописывает путь луча в модели. К минусам такого сканирования можно отнести несколько случаев, описанных на практике, один из них – зеркальные поверхности. LiDAR смартфона распознает зеркало как глубину и пробивает точки вглубь объекта. Еще одним минусом в работе является возникновение внезапных артефактов в модели при сканировании. Артефакты – это погрешности луча сканера и пропись (как правило) мелких объектов в общую массу вершин.

В качестве практического эксперимента проводились натурные исследования – сканирование лестничной площадки многоквартирного жилого дома.

Важно учитывать тот факт, что чем дальше происходит сканирование, тем качественнее получится модель на финальной обработке. Также на качество модели влияет освещение, т.к. именно благодаря свету луч сканера пробивает вершины и с помощью алгоритмов записывает в готовый 3D-продукт.

Начальные действия при работе в приложении весьма просты для любого пользователя. При запуске приложения формируется новый объект скана: на смартфоне открывается окно, аналогичное записи видео, при этом приложение запускает сканер и выводит примерную полигональную сетку на экран для визуального восприятия (рис. 1).



Рис. 1. Начальная стадия сканирования объекта и первый этап работы

Второй фазой сканирования является запись этого скана в файл

программы. При этом нужно обойти и тщательно просканировать необходимые области пространства помещения (это касается необходимых областей проектирования). Те области, которые оказались не записанными в 3D-продукт, программой будут выделены другим цветом, так, как показано на рис. 2. Область сиреневого цвета не прошла сканирование и не записана в 3D-продукт. Интерфейс программы показывает, на какой элемент в процессе работы нужно навести камеру, чтобы завершить сканирование корректно.



Рис. 2. Второй этап работы по сканированию объекта в готовый 3D-продукт

В эксперименте сканирование проводилось непродолжительное время и в границах небольшого пространства лестничной клетки. По окончании сканирования получается 3D-продукт без текстур в облаке точек, сформированных в системе координат XYZ. На рис. 3 показано, насколько объект сформировался в 3D-модель за непродолжительное время (приблизительно 30-40 с).

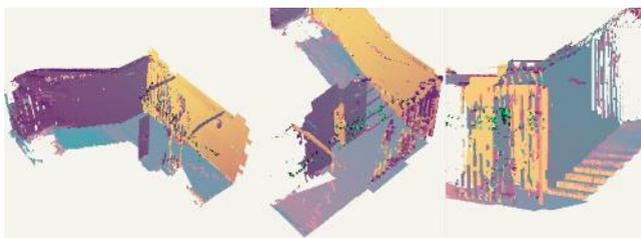


Рис. 3. Отсканированный объект с разных ракурсов

После вычисления облака точек необходимо обработать готовый 3D-продукт и сформировать карту текстуры. Программа выполняет эту операцию автоматически с помощью внутренних алгоритмов наложения отдельных кадров на полигоны в системе полигональной сетки.



Рис. 4. Модель с наложением прописанной карты текстур

Помимо воссоздания 3D-модели, функционал программы позволяет измерить габариты объектов сразу внутри окна программы. Для этого накладываются две точки по вершинам, и размер появляется автоматически, как показано на рис. 5. Например, в эксперименте по результатам замеров ширина проема для входной двери лифта составила 700 мм, а лестничного пролета – 1100 мм.



Рис. 5. Проставленные программой габаритные размеры (ширина лестничного пролета и входной двери лифта)

Такой комплексный подход в работе архитектора и дизайнера упрощает и оптимизирует процесс обмеров помещения и/или других объектов. Также программа выполняет ряд других функций: например, видеозапись отсканированного объекта, что также может помочь в

разработке видео-презентации для заказчика или формированию комплекта документации проекта. Еще одной удобной функциональной возможностью является просмотр объекта в режиме дополненной реальности (воспроизведение в AR) для создания полного эффекта присутствия на объекте проектирования.

Полученный 3D-продукт для дальнейшей работы с объектом скана лестничной площадки жилого дома в профессиональных программах по проектированию и моделированию необходимо экспортировать в формат, читаемый данными программами. ПО позволяет вывести объект как полигональную сетку в форматах: OBJ, GLTF, DAE, FBX, USDZ, STL. Кроме того, объект можно вывести как облако точек в форматах: DXF, PLY, XYZ, LAS, PTS.

В данном исследовании предлагается использование программного пакета 3Ds Max. 3Ds Max – это профессиональная программа для моделирования, анимации и воспроизведения визуализаций [5]. Внутри программы можно открыть такие файлы, как OBJ и FBX.

В случае исследования необходимо отследить путь моделинга получаемого «чистового» объекта на основе скана модели. После создания файла сцены файл с 3D-объектом подгружается через операцию «import». Он открывается в точном масштабе с реальными размерами.

На основе высот и размеров с помощью различных видов моделирования можно «поднять» модель: это сплайновое, полигональное моделирование или моделирование на основе стандартных примитивов. Сплайном можно создать каркас ребер объекта и задать полигоны между ними, создавая тем самым плоскости. Примитивы – это готовые алгоритмы объектов в виде «боксов», «плейнов», «конусов» и т.д.

В данном случае объект можно воссоздать с помощью «боксов» – это простой понятный метод моделирования. Доработать объект можно, конвертируя элементы в Editable Poly на уровне вершин, ребер, полигонов. Существует еще один метод – чистка артефактов в отсканированной модели, однако это может корректно работать только на плоскостной модели без мелких деталей [2].

Практическое применение технологии сканирования LiDAR было осуществлено при разработке проекта ревитализации интерьера здания-памятника «Гостиный двор» в г. Тамбове. Применяемая технология дополнила невосполнимую часть проекта по замерам деталей лепнины и больших статичных объектов. Технология лазерного сканирования позволила измерить труднодоступные элементы интерьера. Так, например, вычислены размеры декоративной потолочной розетки – ее

диаметр составил 2000 мм, а габаритная коробка кронштейна – 400×400×800 мм. На основе полученных данных (рис. 6) путем сплайнового моделирования с применением примитивов была воспроизведена модель люстры сложной формы.



Рис. 6. Полученное облако точек люстры с наложением текстур

Высота потолков главных залов объекта составляет около 6,5 м, и габаритную коробку люстры измерить не представлялось возможным без применения специальных средств подмащивания. Однако, данная технология по воспроизведению объектов из отсканированного 3D-продукта позволила восстановить размеры и воссоздать объект в полученных визуализациях проекта (рис. 7).

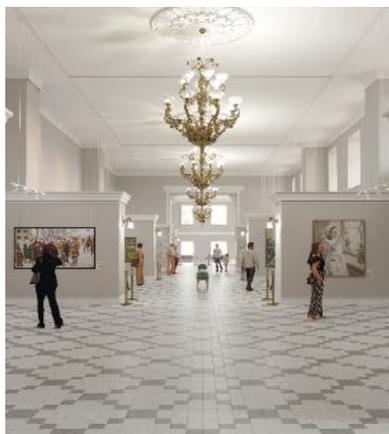


Рис. 7. Визуализация проекта интерьера здания «Гостиный двор»

На основе проведенных практических исследований и построения 3D-модели лестничной клетки и архитектурных деталей интерьера установлено, что технология 3D-сканирования LiDAR является успешной и перспективной в моделировании объектов проектирования в архитектуре и дизайне. Она может применяться для оптимизации работы проектировщика по воссозданию сложных объектов и внедрения их в 3D-модель помещения, разработанную, в том числе, в другом программном обеспечении.

### **Библиографический список**

1. Васильев Р.С., Чепрасов А.Г., Клашанов Ф.К. Перспективы применения LiDAR на мобильных устройствах для создания BIM-модели // *Инновации. Наука. Образование.* – 2020. – С. 1614 – 1618.
2. Рошин В.С., Канатов А.В., Сторожев В.В., Методы 3D моделирования с применением современных компьютерных технологий // *Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции.* Москва, 14–16 апреля 2015 года / Московский государственный университет дизайна и технологии. Т. 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет дизайна и технологии", 2015. – С. 61–62.
3. Сергеев В.А. Микаева С.А. Лидар // *Наука. Исследования. Практика: Сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт- Петербург, 25 декабря 2019 года. Том Часть 2.* – Санкт-Петербург: Частное научно- образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2020. – С. 165–166.
4. Сергеев С.Н., Петрунина Н.Ю. Проблемы компьютерного 3D моделирования // *В сборнике: Студент года – 2019. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса.* – 2019. – С. 21–25.
5. Стивен Т. Разработка трехмерных моделей в 3ds max 7: введение в искусство и технологии трехмерного моделирования с помощью программы 3ds max компании Discreet. М.: Вильямс, 2006. С. 332.

## ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В УГЛОВЫХ ЗОНАХ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

**Калашников В.А.**, студент,  
**Белявская О.Ш.**, ст. преп.  
*Тюменский индустриальный  
университет, г. Тюмень, Россия*  
**Федоров С.В.**, канд. техн. наук, доц.  
*Омский государственный технический  
университет, г. Омск, Россия*

На сегодняшний день архитектура зданий имеет большое разнообразие форм плана и сложную конфигурацию элементов наружных ограждений. На смену прямоугольным формам плана зданий пришли объекты с различными углами примыкания наружных ограждающих конструкций друг к другу. При сложной конфигурации ограждающих конструкций, большом количестве материалов с различными характеристиками расчет температурных полей и обработка результатов вручную может оказаться весьма затруднительным. Однако использование специализированных компьютерных программ может значительно ускорить и упростить данный процесс.

Цель: Использование программного комплекса «Temper 3D» для расчета трехмерных температурных полей в угловых зонах различной конфигурации наружных стен.

Задачи:

- подготовка исходных данных для выполнения расчета;
- построение расчетной области;
- присвоение характеристик материалам;
- задание граничных условий;
- расчет температурных полей и обработка результатов.

Работа программного комплекса «Temper 3D» основана на расчете трехмерных температурных полей и приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций методом конечных элементов [1].

Метод конечных элементов – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными.

ПК «Temper 3D» состоит из трех программ, каждая из которых имеет определенный функционал [2].

Modeler 6.14 предназначена для задания размеров конструкций, деления их на подконструкции, их пространственной ориентации относительно друг друга, дискретизации на конечные элементы.

В Temper 6.14 задаются коэффициенты теплопроводности материалов, граничные условия на поверхности, производится предварительная проверка и подготовка модели для отправки и расчета

на сервере.

С помощью Temper 5.14 происходит просмотр графических результатов расчета.

В рамках исследования было проанализировано два варианта решения углового элемента здания детского дошкольного учреждения в г. Сургут. Исходные данные для теплотехнического расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Расчетные параметры наружной и внутренней среды [3]**

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1	Район строительства	г. Сургут
2	Расчетная температура наружного воздуха (температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92)	- 45
3	Расчетная температура внутреннего воздуха [4]	22
4	Относительная влажность внутреннего воздуха [4]	60
5	Температура точки росы	13,88
6	Влажностный режим помещения	Нормальный
7	Зона влажности района строительства	Нормальный
8	Условия эксплуатации	Б
9	Коэффициент теплообмена внутренней поверхности	8,7
10	Коэффициент теплообмена наружной поверхности	23

Состав ограждающей конструкции здания представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Состав стены и характеристики материалов [5]**

№ п/п	Материал	Толщина, мм	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м <sup>2</sup> *К
1	Тонкослойная штукатурка защитно – декоративная	20	1050	0,36
2	ROCKWOOL ФАСАД БАТС ТУ 5762-002-45757203-99	150	110	0,041
3	Кирпич керамический полнотелый одинарный по ГОСТ 530-2012	380	1800	0,7
4	Плита перекрытия многопустотная	220	2000	1,41

На первом этапе была проведена " Дискретизация "- вводилась информация о размерах наружной ограждающей конструкции, ее форме и размерах, количестве КЭ [6].

Далее в пункте " Просмотр слоев " задаются коэффициенты

теплопроводности материалов. Для каждого вида материала необходимо выбирать свой цвет. Чтобы внести изменения в значение коэффициента теплопроводности необходимо выбрать прямоугольник нужного цвета в правой колонке и ввести новое значение.

Граничные условия с учетом коэффициента теплообмена задаются в пункте " Граничные условия ". В данном пункте для каждого поверхностного элемента вводится тип граничных условий, соответствующий определенным условиям теплообмена, раскрашиваемый в нужный цвет.

Расчет температурного поля выполняется в пункте " Расчет ".

Данный пункт выполняется только в том случае, если выполнена дискретизация на конечные элементы, заданы граничные условия и характеристики материалов. Необходимо следить, чтобы значение параметров в подпункте " Сводка " не превышало предельно допустимые значения (625 объемных элементов). После подготовки данных производится отправка на сервер, где производится расчет [2].

Результаты расчета записываются в отдельный файл, в котором содержатся название файла, дата и время выполнения расчета, температуры внутренней и наружной поверхностей, их площади, значения тепловых потоков и погрешность расчета.

На последнем этапе выполняется визуализация результатов расчета. Данный пункт позволяет вывести результаты расчета в графическом виде на экран. Перемещая курсор по поверхности конструкции можно узнать значение температуры в любой точке расчетной области. В правой части экрана располагается численное значение температур, соответствующих изотермам (рис. 1-4).

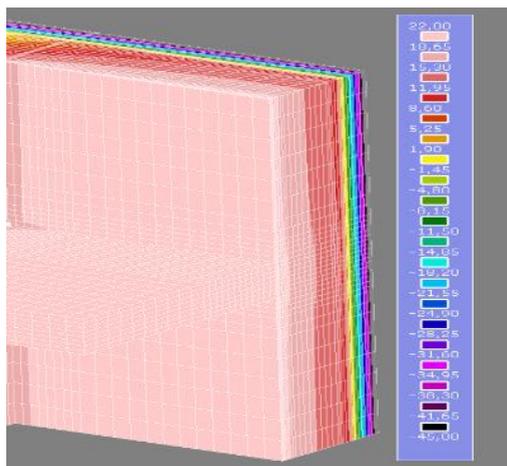


Рис. 1. Визуальное представление решения прямого угла

1  
 -.449824E+02 .219971E+02  
 Дата расчета - 6: 2:2023  
 Начало расчета - 19:23:22 Файл: 90gr200-1\_P.7z  
 Конец расчета - 19:23:52  
 Время расчета - 0:0:30  
 Оставшийся суточный лимит времени - 0:47:38 Расчетов: 24  
 Дата окончания лицензии - 01.03.2023 Осталось меньше месяца!

---

Параметр Измельчения - 2 ( 2000 50% 1.50 С .50 мм)  
 Искажения pag=( .40) vp=( .41) С .235E+04 .110E+04 .110E+04

---

N/N	Кoeff.тепл.	T среды	Площадь	T средняя	Тепл. поток
4	.2300E+02	-.4500E+02	.76590E+01	-.44435E+02	-.99547E+02
10	.8700E+01	.2200E+02	.72876E+01	.20430E+02	.99547E+02

---

Q вх.= .995473167E+02 Q вых.= -.995473131E+02 Погрешность = .00000362%

Рис. 2. Значение результатов расчета прямого угла [7]

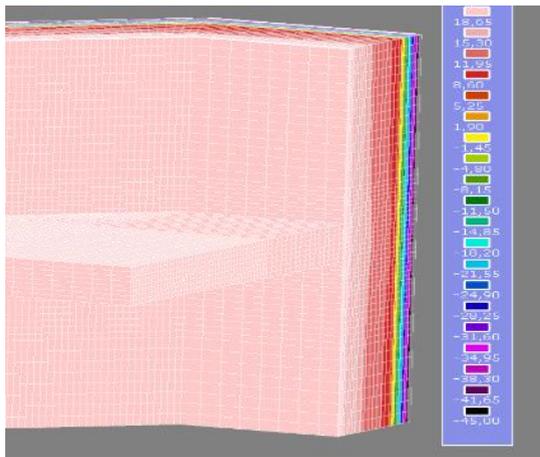


Рис. 3. Визуальное представление решения угла 225 °

1  
 -.447993E+02 .219993E+02  
 Дата расчета - 6: 2:2023  
 Начало расчета - 21:04:55 Файл: 225gr-v2\_P.7z  
 Конец расчета - 21:05:53  
 Время расчета - 0:0:58  
 Оставшийся суточный лимит времени - 0:46:20 Расчетов: 22  
 Дата окончания лицензии - 01.03.2023 Осталось меньше месяца!

---

Параметр Измельчения - 3  
 Искажения pag=( .69) vp=( .70) С .145E+04 .179E+04 .110E+04

---

N/N	Кoeff.тепл.	T среды	Площадь	T средняя	Тепл. поток
4	.2300E+02	-.4500E+02	.78652E+01	-.44402E+02	-.10822E+03
10	.8700E+01	.2200E+02	.91710E+01	.20644E+02	.10822E+03

---

Q вх.= .108218943E+03 Q вых.= -.108215452E+03 Погрешность = .00322582%

Рис. 4. Значение результатов расчета тупого угла [7]

После проведения расчета на сервере были получены следующие результаты:

В расчетной области с пересечением стен " Внешний угол 90°

минимальное значение температуры внутренней поверхности находится на грани соприкосновения стен с плитой перекрытия и составляет  $+16,22^{\circ}\text{C}$ . Результаты расчета представлены в приложении № 2.

В расчетной области с пересечением стен " Внешний угол  $225^{\circ}$  минимальное значение температуры внутренней поверхности стены так же находится на грани соприкосновения стены и перекрытия, однако, при одинаковых граничных условиях и материалах составляет  $+19,12^{\circ}\text{C}$ .

На основании результатов расчета принято решение выполнить наружные углы здания тупоугольной конфигурации, поскольку данное решение позволяет значительно эффективнее использовать свойства материалов ограждающей конструкции.

ПК «Temper 3D» имеет значительный ряд преимуществ:

- интуитивно понятный интерфейс;
- возможность создания и расчета конструкций разнообразных форм;
- результат расчета отображается как в текстовом, так и в графическом виде;
- отечественный программный продукт;
- отзывчивая техническая поддержка.

### **Библиографический список**

1. Федоров С.В. Оценка корректности теплотехнических расчетов ограждающих конструкций методом конечных элементов / С. В. Федоров, И. А. Терехова. – Текст: электронный // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2017. - № 1 (4). – с. 31 – 42. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29675520> ( дата обращения 24.02.2023). Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;

2. Федоров С.В. Клиент – серверные расчеты по e-mail / С. В. Федоров. – Текст: электронный // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2016. - № 3. – с. 204 – 207. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26598293> ( дата обращения 24.02.2023). Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;

3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология = Building climatology : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. № 859/пр и введен в действие с 25 июня 2021 г. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 146 с. – Текст : электронный;

4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях = Residential and public buildings.

Microclimate parameters for indoor enclosures : издания официальное : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 191-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2013 г. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 11 с. – Текст : электронный;

5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий = Thermal performance of the buildings : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г. № 265 и введен в действие с 1 июля 2013 г. – Москва : Минрегион России, 2012. – 100 с. – Текст : электронный;

6. Руководство пользователя программным комплексом «TEMPER-3D» к лабораторным работам по расчету и моделированию температурного режима ограждающих конструкций зданий / С. В. Федоров, А. Д. Кривошеин. – Омск : СибАДИ, 2018. – 29 с;

7. Temper-3D. Теплотехнические расчеты : официальный сайт. – 2022. – URL: <https://www.temper3d.ru/> (дата обращения 24.02.2023). – Текст : электронный.

## **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

**Караханян В.Б., аспирант,  
Овчинников И. Г., д-р техн. наук, проф.**  
*Саратовский государственный технологический  
университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия*

Как известно, в настоящее время на магистральных трубопроводах в РФ по причине коррозионных повреждений происходит до 42 % аварий, а в КНР эта величина достигает 45 %. Поэтому проблема оценки напряженно-деформированного состояния трубопроводных конструкций с учетом кинетики развития коррозионных повреждений представляет весьма большую актуальность и для нашей страны и для зарубежных стран. В результате коррозионные поражения наружной поверхности трубопроводов от грунтовой коррозии и коррозионные повреждения внутренней поверхности трубопроводов от агрессивных примесей, содержащихся в транспортируемом продукте, являются факторами, лимитирующими продолжительность эксплуатации трубопроводов.

Конструктивная схема элементов магистральных трубопроводов может включать прямолинейные участки, упругие искривленные участки, криволинейные участки, состоящие из гнутых труб, а также

стыки, сварные колена и тройники. Эти участки трубопровода в зависимости от решаемой задачи могут моделироваться с точки зрения строительной механики или схемой пространственного стержня, или схемой тонкостенной оболочки, или даже жесткой нити. При этом в зависимости от условий опирания участка трубопровода, схемы его загрузки, а также с учетом поставленных задач расчетного анализа для трубопровода из упругого материала могут иметь место такие расчетные схемы трубопровода:

- упругая балка соответствующего поперечного сечения на упругом грунтовом основании же (винклеровском) основании;
- упругий же стержень в упругой грунтовой среде;
- статически неопределимая упругая многопролетная балка;
- плоская конструкция в виде рамы из трубчатых элементов;
- толстостенная цилиндрическая оболочка или точнее толстостенная труба;
- безмоментная упругая цилиндрическая оболочка;
- брус, имеющий малую кривизну;
- брус, имеющий малую кривизну, расположенный в упругой грунтовой среде;
- жесткая нить без упругой среды или в упругой грунтовой среде;
- тонкостенная цилиндрическая оболочка в условиях осесимметричного нагружения;
- оболочка в соответствии с полубезмоментной теорией оболочек В.З. Власова;
- произвольно нагруженная упругая тонкостенная оболочка в упругой грунтовой среде;
- тонкостенная цилиндрическая оболочка, имеющая криволинейную ось;
- несколько сопряженных упругих цилиндрических оболочек.

В связи с этим описанные в нормативных документах расчеты по методике предельных состояний практически не учитывают работу трубопроводов в процессе эксплуатации, а моделируют поведение трубопроводов в некотором предельном состоянии, которое практически никогда не наступает, и потому позволяют оценить только интегральные (предельные) возможности трубопровода. Очевидно, что такие состояния могут наступить один-два раза в жизни трубопровода – при проведении гидравлических испытаний или при испытаниях с доведением трубопровода до разрушения. Такой расчет может использоваться при проведении анализа после наступления аварийной ситуации на трубопроводе для установления причин аварии и разработке мер по недопущению таких ситуаций в дальнейшем.

Построение модели трубопровода, учитывающей геометрическую, физическую, конструктивную нелинейности и коррозионный износ.

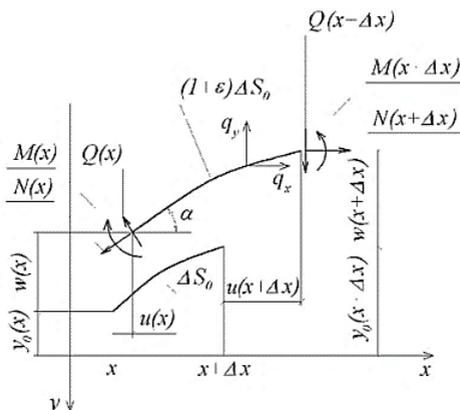


Рис. 1. Исходная и деформированная расчетная схема элементарного участка трубопровода (разработано автором)

Далее предполагается, что уровень нагружения трубопровода и вызываемый этими нагружениями уровень напряжений дает возможность применять деформационную теорию пластичности. Также считаем, что справедлива гипотеза прямых нормалей (Кирхгоффа), прогибы трубопровода малы по сравнению с его длиной, а касательными напряжениями и деформациями сдвига от перерезывающих сил и крутящих моментов можно пренебречь. В результате получаем стержневую расчетную схему, приведенную на рисунке 2 в исходном и деформированном состоянии.

Полагаем, что линия проложения трубопровода в вертикальном направлении задана функцией  $y_0(x)$ , а перемещение точки трубопровода с продольной координатой  $x$  разложим на две составляющие: горизонтальную  $u(x)$  и вертикальную  $w(x)$ .

Анализируем равновесие малого элемента трубопровода, имеющего длину  $\Delta S$ , в сечениях которого возникают усилия: изгибающий момент  $M$ , продольное усилие  $N$ , поперечная сила  $Q$ .

Составляя уравнения равновесия всех усилий, действующих на этот малый элемент, получим:

$$\frac{d}{dx}(N \sin \alpha - Q \cos \alpha) - q_y = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dx}(N \cos \alpha + Q \sin \alpha) - q_x = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dx} + (N \sin \alpha - Q \cos \alpha) - (N \cos \alpha + Q \sin \alpha) \frac{d(y_0 + w)}{dx} = 0. \quad (3)$$

Эту систему легко преобразовать к двум дифференциальным уравнениям:

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\left(\frac{d(y_0 + w)}{dx}\right)^2 + \left(1 + \frac{du}{dx}\right)^2} - 1 = \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dx}\right)^2, \quad (4)$$

$$\phi = \frac{1}{\gamma^3} \left[ \left(1 + \frac{du}{dx}\right) \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} - \left(\frac{d^2u}{dx^2}\right) \frac{d(y_0 + w)}{dx} \right] = \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2}, \quad (5)$$

Если трасса трубопровода пологая, перемещения трубопровода малы, то относительную продольную осевую деформацию трубопровода  $\varepsilon_0$ , а также кривизну деформированной оси трубопровода  $\phi$  и используемые выше тригонометрические характеристики можно записать с использованием таких компонент перемещения как  $u$  и  $w$ :

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\left(\frac{d(y_0 + w)}{dx}\right)^2 + \left(1 + \frac{du}{dx}\right)^2} - 1 = \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dx}\right)^2, \quad (6)$$

$$\phi = \frac{1}{\gamma^3} \left[ \left(1 + \frac{du}{dx}\right) \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} - \left(\frac{d^2u}{dx^2}\right) \frac{d(y_0 + w)}{dx} \right] = \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2}, \quad (7)$$

$$\sin \alpha = \frac{d(y_0 + w)}{\gamma dx} = \frac{d(y_0 + w)}{dx}, \quad (8)$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\gamma} \left(1 + \frac{du}{dx}\right) = 1. \quad (9)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{d(y_0 + w)}{dx}\right)^2 + \left(1 + \frac{du}{dx}\right)^2}.$$

Если подставить эти выражения в (4) и (5), то получим:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} + q_y - N \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} + q_x \frac{d(y_0 + w)}{dx} - \frac{d(y_0 + w)}{dx} \frac{dM}{dx} \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} = 0, \quad (10)$$

$$\frac{d^2 M}{dx^2} \frac{d(y_0 + w)}{dx} + \frac{dM}{dx} \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} + \frac{dN}{dx} + q_x = 0. \quad (11)$$

Для дальнейших преобразований необходимо вывести выражения

для  $M$  и  $N$ , в этих уравнениях.

Если на трубопровод действует перепад температуры  $\Delta T$ , но механические свойства материала не зависят от изменения температуры, можно записать:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\psi(\varepsilon)} + \beta\Delta T, \quad (12)$$

где функция  $\psi(\varepsilon) = a\varepsilon^{k-1} - b\varepsilon^{m-1}$ ; а  $\beta$  - коэффициент линейного расширения.

Для того, чтобы учесть внутреннее давление в трубопроводе и его влияние на его продольные перемещения в (15), введем дополнительный член  $-\nu\sigma_{окр}$ , в котором  $\nu$  - коэффициент поперечной деформации; а величина  $\sigma_{окр} = (P_{вн} R)/h$  - есть окружное напряжение от действия внутреннего давления; причем  $P_{вн}$  - есть внутреннее давление в трубопроводе. В результате:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\psi(\varepsilon)} + \beta\Delta T - \nu\sigma_{окр},$$

Находя отсюда напряжение, получим:

$$\sigma = \psi(\varepsilon) \left[ \varepsilon - \beta\Delta T + \nu\sigma_{окр} \right]. \quad (13)$$

Гипотеза плоских сечений позволяет записать следующее выражение для относительной деформации произвольной точки сечения трубопровода, имеющей координату  $z_i$  записывается:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \phi z_i. \quad (14)$$

В результате можем записать,

$$\sigma = \left[ a(\varepsilon_0 + \phi z_i)^{k-1} - b(\varepsilon_0 + \phi z_i)^{m-1} \right] \cdot (\varepsilon_0 + \phi z_i + g), \quad (15)$$

где обозначено (16)

$$g = -\beta\Delta T + \nu\sigma_{окр}.$$

Учитывая, что

$$M = \int_{A'} \sigma_i dA', \quad N = \int_{A'} \sigma dA',$$

принимая во внимание (16), а

также полагая, что трубопровод подвергается коррозионному износу, приводящему к изменению его геометрических параметров, получим

$$z_t = R_t(\varphi) \cdot \sin \varphi, \quad dA' = h'(\varphi) \cdot R_t(\varphi) d\varphi, \quad (17)$$

И после несложных преобразований запишем выражения:

$$N = (\varepsilon_0 + g) \cdot I_1 + \phi \cdot I_2, \quad (18)$$

$$M = (\varepsilon_0 + g) \cdot I_2 + \phi \cdot I_3, \quad (19)$$

где  $I_1, I_2, I_3$  – некоторые достаточно сложные, но легко находимые с помощью компьютерных программ функции осевой деформации трубопровода  $\varepsilon_0$ , его кривизны  $\phi$ , а также времени  $t$ :

$$I_1 = \int_0^{2\pi} G \cdot R_t(\varphi) \cdot h'(\varphi) d\varphi, \quad (20)$$

$$I_2 = \int_0^{2\pi} G \cdot R_t^2(\varphi) \cdot h'(\varphi) \cdot \sin \varphi d\varphi, \quad (21)$$

$$I_3 = \int_0^{2\pi} G \cdot R_t^3(\varphi) \cdot h'(\varphi) \cdot \sin^2 \varphi d\varphi. \quad (22)$$

Входящая в подынтегральные выражения функция  $G(\varepsilon_0, \phi, t, \varphi)$  записывается:

$$G = a(\varepsilon_0 + \phi \cdot R_t(\varphi) \cdot \sin \varphi)^{k-1} - b(\varepsilon_0 + \phi \cdot R_t(\varphi) \cdot \sin \varphi)^{m-1}, \quad (23)$$

Если учесть (19) и (20), то получим:

$$G = a \left[ \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + R_t(\varphi) \cdot \sin \varphi \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right]^{k-1} - b \left[ \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + R_t(\varphi) \cdot \sin \varphi \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right]^{m-1}. \quad (24)$$

Для влияния нелинейности деформирования грунтового основания в случае перемещения трубопровода по вертикали вертикальную компоненту нагрузки в (17) можно записать:

$$q_y = -P_0 - \eta_1(C) \cdot w^{\mu_1} \cdot e(-w) + \eta_2(C) \cdot w^{\mu_2} \cdot e(w), \quad (25)$$

где  $P_0$  - вес единицы длины трубопровода и перекачиваемого продукта;  $\eta_1(C), \eta_2(C)$  - коэффициенты постели при перемещении трубопровода соответственно вниз и вверх, являющиеся функциями концентрации

$C(x)$  агрессивной среды, которая проникает в грунт постели и приводит к изменению его механических характеристик;  $\mu_1, \mu_2$  - коэффициенты, отражающие степенную нелинейность работы грунтового основания;  $e(w)$  - единичная обобщенная функция, причем если  $w > 0$ : то  $e(w) = 1$ , а если  $w \leq 0$  то  $e(w) = 0$  Горизонтальная компонента нагрузки принимается в виде:

$$q_x = \eta_3(C) \cdot u^{\mu_3}. \quad (26)$$

Подставляя полученные выражения для усилий и других факторов в уравнения (23) и (24), получим систему нелинейных дифференциальных уравнений относительно двух неизвестных перемещений  $u(x)$  и  $w(x)$ . Эта система уравнений описывает напряженно-деформированное состояние подземного трубопровода в случае одновременного учета следующих нелинейных факторов: геометрической, физической, конструктивной нелинейностей, а также коррозионного износа трубопровода и влияния агрессивной среды на свойства нелинейного грунтового основания:

$$\begin{aligned} & \frac{d^2}{dx^2} \left[ I_2 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_3 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] - \\ & - \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \left[ I_1 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_2 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] - \\ & - \frac{d(y_0 + w)}{dx} \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \cdot \frac{d}{dx} \left[ I_2 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_3 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] - \\ & - P_0 - \eta_1(C) \cdot w^{\mu_1} \cdot e(-w) + \eta_2(C) \cdot w^{\mu_2} \cdot e(w) + \eta_3(C) \cdot u^{\mu_3} \cdot \frac{d(y_0 + w)}{dx} = 0, \\ & \frac{d(y_0 + w)}{dx} \cdot \frac{d^2}{dx^2} \left[ I_2 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_3 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] + \\ & + \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \cdot \frac{d}{dx} \left[ I_2 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_3 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] + \\ & + \eta_3(C) \cdot u^{\mu_3} + \frac{d}{dx} \left[ I_1 \cdot \left( \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dx} \right)^2 + g \right) + I_2 \cdot \frac{d^2(y_0 + w)}{dx^2} \right] = 0. \end{aligned} \quad (27)$$

Используя полученные уравнения, можно проанализировать напряженнодеформированное состояние трубопровода с учетом целого спектра нелинейностей различного вида, сопровождающих процесс деформирования трубопровода в грунте с учетом коррозионного износа.

### **Библиографический список**

1. Марченко, А.Ф. Почвенная коррозия трубопроводной стали и магистральных трубопроводов / А.Ф. Марченко // Строительство трубопроводов. – 1995. – № 1. – С. 29-34.
2. Зайнуллин Р.С. Обеспечение работоспособности оборудования в условиях механохимической поврежденности. М.: Мир, 1997. 428 с.
3. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В. Коррозионно-механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем. Уфа: Гилем, 1997. 177 с.
4. Зайнуллин, Р.С. Ресурс элементов трубопроводных систем. М.: Нефть и газ, 2005. 836 с.
5. Melchers, R.E. Statistical characterization of pitting corrosion – Part 2: Probabilistic modeling for maximum pit depth /R.E. Melchers // Corrosion.-2005.№8.-p.766-777.

### **КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПОСРЕДСТВОМ BIM ИНСТРУМЕНТОВ ПРОГРАММЫ ARCHICAD**

**Корольская А.И., магистрант,  
Бобровников Е.А., магистрант,  
Кучеренко А.С., магистрант,  
Долженко А.В ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Информационное моделирование зданий (от английского Building Informational Modeling), сокращенно BIM– это процесс, в результате которого формируется информационная модель здания (от английского Building Informational Model).

Информационное моделирование зданий (BIM), цифровое представление о физических и функциональных характеристиках здания, было введено в области гражданского проектирования для совершенствования эффективности и повышения качества. Такой инструмент создан, чтобы помочь инженерам в процессе проектирования. BIM ранее направлен на комплексный вариант анализа с минимальным возможным вмешательством пользователя.

Во время разработки макета и моделирования BIM, модели проверяются на отсутствие поврежденной информации; возможные способы интегрирование необходимой информации определяются из опыта.

BIM находится на стыке различных дисциплин. С помощью данного метода моделирования в среде ARCHICAD в одном проекте можно объединить всеобъемлющие данные по архитектуре, дизайну, инженерным, экономическим решениям и многое другое, что в комплексе позволяет избежать ошибок, увеличить окупаемость и эффективность проекта. Данные вносятся в соответствии с установленными стандартами, являются точными и обновляются регулярно. Одно из главных преимуществ модели – сокращение времени и расходов со стороны заказчика, а также возможность исправлять и улучшать проект на первых этапах его формирования [1].

Информационная модель здания (BIM) – это предназначенная для решения конкретных задач и пригодная для компьютерной обработки структурированная информация о проектируемом, существующем или даже утраченном строительном объекте, при этом:

Нужным образом скоординированная, согласованная и взаимосвязанная.

Имеющая геометрическую привязку.

Пригодная для расчетов и количественного анализа.

Допускающая необходимые обновления.

Если говорить о работе со зданием в период его жизненного цикла, то здесь информационная модель здания – это некоторая база данных об этом здании, управляемая с помощью соответствующей компьютерной программы (или комплекса таких программ).

Такое определение в наибольшей степени соответствует сегодняшнему подходу к концепции BIM многих разработчиков компьютерных средств проектирования на основе информационного моделирования зданий [2].

Деятельность группы архитекторов организована с помощью BIM Server – инструмента ARCHICAD для организации совместной работы над проектами больших размеров. Участники могут подключаться к BIM-модели удаленно. Проект делится на основные и вспомогательные модули, которые содержали в том числе и типовые решения различных узлов проекта [3].

Также одним из практических решений BIM-моделирования является оптимизация проекта организации строительства. Для генерации планировки строительной площадки внешних обстоятельств и граничных условий проверяются и комбинации с требованиями

выработки и решается проблема оптимизации. В качестве вводных данных расположение проблемной информации о видах объектов для размещения и количества каждого типа объекта и/или размер каждого объекта является необходимой информацией, данные о геометрии здания, применяемые конструктивные методы, также график времени будет извлечен из модели BIM. Башенные краны играют ключевую роль в возведении строительных проектов.

Другие ограничительные аспекты безопасности, например, кран не должен поднимать грузы над помещениями конторы или земляные характеристики, например, грузоподъемность должна учитываться при размещении крана. Ограничения будут классифицироваться как жесткие (обязательные) и мягкие (рекомендации). Обычно проектировщик выбирает между различными конструктивными методами реализации строительного проекта. Различные конструктивные методы влекут за собой разные материалы, место хранения, строительное оборудование и технологии процессов, что приводит к чрезмерным комплексам расходов и распределения времени. Рассматривается облегченный процесс выбора конкретного конструктивного метода основываясь на отчете, различных сопоставленных критериях разных методов. Соответственно с изменением объектов, требования к пространству и ограничению меняются в течении строительных этапов.

Типичными целями являются снижение затрат и повышение безопасности. Для измерения затрат, которые возникают на строительной площадке, различных параметров используются: прочный показатель эффективности – это передвигаемая дистанция и частота между различными сооружениями для расчета затрат на транспортировку материалов и работников проездными маршрутами [4].

Созданные варианты размещения строительных площадок должны быть проанализированы и сопоставлены, определение стоимости на основе этих вариантов занимает центральное место. Таким образом, ключевой показатель производительности (КПП) системы будет разработан с упором на производительную безопасность и аспекты производительности. При расчете этих КПП будет использоваться метод строительного моделирования, который включает в себя модель с ранее определенным размещением строительной площадки.

Также, одним из направлений GRAPHISOFT является OPEN BIM – подход, направленный на открытое межплатформенное взаимодействие при обмене данными на уровне информационного моделирования зданий. Инновационные продукты компании, такие как BIMcloud™ –

первое в мире решение, направленное на организацию совместного BIM-проектирования в режиме реального времени, EcoDesigner – первое в мире полностью интегрированное приложение, предназначенное для энергетического моделирования и оценки энергоэффективности зданий и BIMx [5].

В процессе разработки модели ARCHICAD отслеживает все компоненты здания и управляет трехмерной информацией. В любой момент в процессе построения можно запросить ARCHICAD выделить какую-либо секцию, показать вид сбоку или перспективу, сформировать текущий перечень строительных материалов. Любую секцию здания на плане можно изобразить в разрезе. Это позволяет установить правильное соотношение между наружной и внутренней частями здания. Кроме того, сечение секции можно изобразить в реалистической закраске.

На любой стадии проекта можно просмотреть спецификацию используемых материалов. В ней учитываются все компоненты, используемые при строительстве, их характеристики могут включать такие параметры, как площадь, объем, цена и прочее (например, производитель, трудозатраты на установку и т.д.).

С помощью инструмента зонирования можно пометить комнаты и зоны здания, такие как жилая площадь, офисы, склады, вспомогательные помещения и так далее. Площадь и объем каждой зоны вычисляются автоматически (рис. 1).

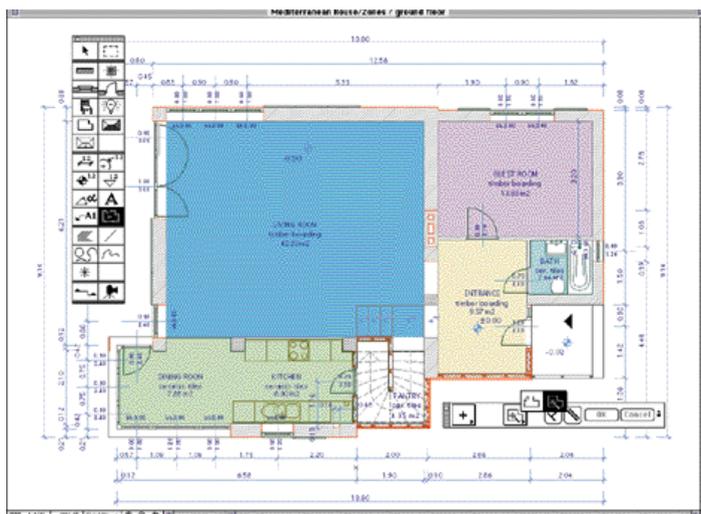


Рис. 1. Пример зонированного плана

Программа ARCHICAD позволяет подготовить модели для взаимодействия с другими программными обеспечениями. Так, например, модель, созданная в ARCHICAD (рис. 2) может служить основой для программы ЛИРА-САПР [6].

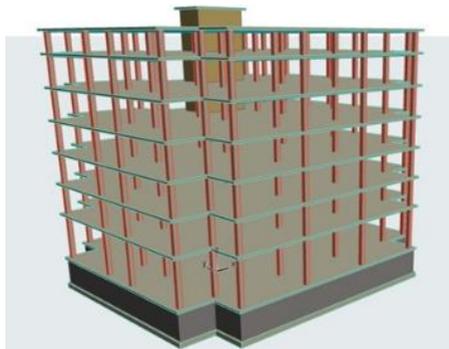


Рис. 2. Модель каркаса здания

С целью проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкций и определения параметров армирования элементов выполненная модель каркаса здания экспортируется в приложение САПФИР (рис. 3), осуществляющее структурный анализ пространственных строительных систем.

Работа в программе САПФИР заключается в минимально необходимой подготовке расчетной модели для передачи на расчет в программу ЛИРА-САПР, включающей:

- дополнительное редактирование пространственного положения и параметров элементов схемы, реализующих особенности расчета;
- триангуляцию элементов расчетной схемы.



Рис. 3. Триангулированная модель в САПФИР

Далее готовая модель экспортируется в ЛИРА-САПР, для дальнейшего расчета нагрузок, в зависимости от задания (рис. 4). По окончании формирования расчетной схемы каркаса производят его полный расчет. Процедура расчета полностью автоматизирована.

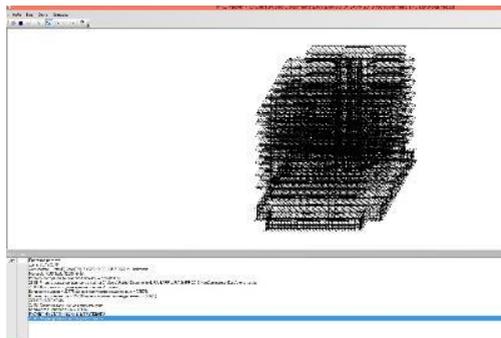


Рис. 4. Окно расчетного процессора ПК ЛИРА-САПР в процессе проведения расчета

Далее, к примеру, можно произвести расчетное армирование элементов. Расчетное армирование конструкции осуществляется ЛИРАСАПР автоматически исходя из – совокупных усилий, возникающих от нагрузок (рис. 5).

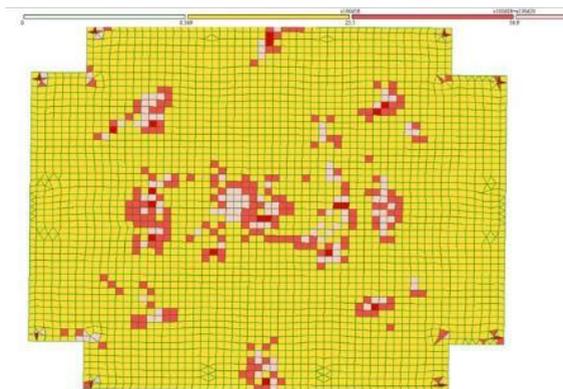


Рис. 5. Вариант армирования

Определенные программой ЛИРАСАПР изополя армирования являются исходными данными для проектирования основных конструкций каркаса в ARCHICAD (рис. 6).

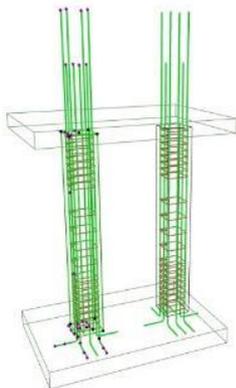


Рис. 6. Пример армирования конструкций

Одним из главных достоинств информационного моделирования является возможность работать со всей моделью, используя любой из ее видов. В частности, для этих целей опять же отлично подходят привычные проектировщикам планы, фасады и разрезы. Составление документации происходит одновременно с разработкой проекта, так как программа хранит полный объем информации о проектируемом здании - планы, разрезы, перспективы, перечень необходимых материалов. а также все замечания архитектора, сделанные во время работы. ARCHICAD позволяет на любом этапе работы над проектом увидеть его в трехмерном виде, в разрезе, в перспективе, подобрать наиболее подходящие материалы и посчитать их расход. Систематизация всех данных проекта, возможность формирования комплексной модели, быстрый расчет соотношения фактических и проектных объемов друг к другу, актуализация всех данных с привязкой к календарному плану, комплексный анализ – все это неоспоримые плюсы BIM технологии, ведущие к полному пониманию хода работ в любой взятый момент времени [7].

### Библиографический список

1. Stefan Krepp, Katrin Jahr, Maximilian Bügler. BIMsite – Towards a BIM-based Generation and Evaluation of Realization Variants Comprising Construction Methods, Site Layouts and Schedules // Conference: EG-ICE Workshop on Intelligent Computing in Engineering At: Krakow, Poland, June 2016.
2. Преимущества BIM в одной инфографике. Минстрой России. [Электронный ресурс].

URL:<http://www.minstroyrf.ru/press/preimushchestva-bim-v-odnoy-infografike/> (дата обращения: 20.02. 23).

3. GRAPHISOFT, Справочное руководство GDL // Graphisoft, a nemetschek company – Copyright© 2021 by GRAPHISOFT, 2021. С.700.

4. Истман, Чак, Тейхольц, Пол, Сакс, Рафаэль, Листон, Кэтлин. BIM Handbook: Руководство по информационному моделированию зданий для владельцев, менеджеров, дизайнеров, инженеров и подрядчиков (2 изд.) // Джон Уайли и сыновья, Канада, 2011. С.120-130.

5. Рахматуллина Е.С. BIM-моделирование как элемент современного строительства // Креативная экономика, 2017. С. 50-78

6. Якушев Н.М., Черных М.А. BIM-технология и программные продукты на его основе в России // Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова, 2014. С.360-368.

7. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 2. – С. 20-28. – DOI 10.34031/2071-7318-2022-8-2-20-28. – EDN ALCZUO.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ВОПРОСА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Маметьев Д. С., студент,  
Сююнчгереев М. Ш., студент,  
Белявская О.Ш., ст. преп.**

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

Информационное моделирование зданий (BIM) – это цифровая технология и процесс, который использует программное обеспечение для 3D-моделирования для создания виртуального представления физических и функциональных характеристик здания. BIM используется для управления информацией и обмена ею на протяжении всего жизненного цикла строительного проекта. Самым распространенным способом использования BIM является моделирование и 3D-визуализация объекта и проведение различных манипуляций, основанных на созданной модели [1].

В ходе данной работы при помощи BIM-технологий была исследована учебная аудитория учебно-лабораторного корпуса Тюменского индустриального университета, расположенного по адресу



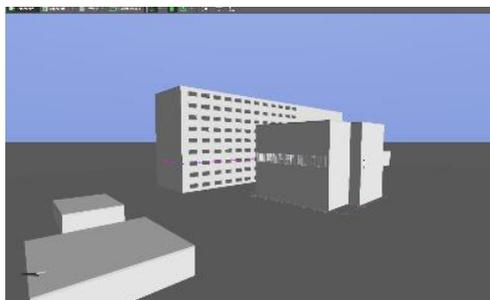


Рис. 3. Модель местности в DIALux EVO



Рис. 4. Модель аудитории в DIALux EVO

Естественная освещенность нормируется при помощи коэффициента естественного освещения (КЕО). Минимальное значение КЕО при боковом естественном освещении в учебной аудитории ВУЗа составляет 1,2 %. Нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности [2].

Программный комплекс DIALux EVO позволяет провести измерения КЕО в расчетной точке. Результат расчета составил 0,23 %. Нормативное значение КЕО существенно превышает расчетное, значит в аудитории не выполнены нормы по боковому естественному освещению.

Проблема недостаточной освещенности довольно существенна, ведь на качество образовательного процесса напрямую влияет окружающая среда: чем большему количеству норм соответствует учебная аудитория, тем больше учащихся чувствуют себя вовлеченными в занятие [3]. Поэтому при создании благоприятной учебной среды важно учитывать различные аспекты дизайна: освещение [4], зонирование, видимость.

Решить проблему недостаточной освещенности позволяет

перепланировка аудитории с разбивкой ее на несколько функциональных зон (рис. 5). Использование Autodesk Revit позволяет существенно ускорить процесс разработки концепции перепланировки и создания необходимой документации.

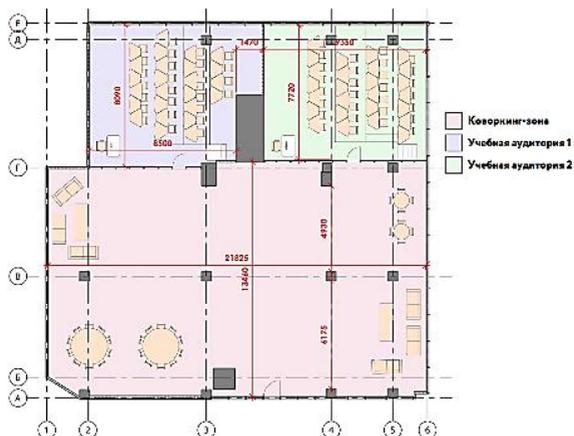


Рис. 5. Схема перепланировки аудитории в Autodesk Revit

Для обеспечения беспрепятственной видимости в предлагаемых аудиториях в программном комплексе Autodesk AutoCAD была построена схема подъема рабочих мест в соответствии с требованиями обеспечения беспрепятственной видимости [5]. За фокусную точку был принят центр нижней трети рабочего экрана, располагающийся на высоте 1200 мм от уровня пола. Схема представлена на рис. 6.

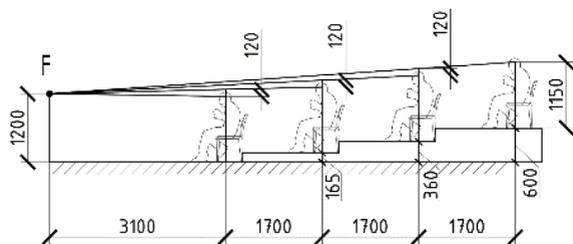


Рис.6. Схема подъема рабочих мест

Визуализация предлагаемой аудитории представлена на рис. 7.



Рис. 7. Модель аудитории с подъемом рядов мест в Autodesk Revit

Таким образом, использование BIM-технологий при исследовании помещений позволяет:

1. Создавать точные и детализированные виртуальные модели.
2. Сократить время работы над проектом вследствие возможности совершения большого числа итераций в короткий период времени.
3. Совершать расчеты различных характеристик помещений (видимость, освещенность и т. д.).
4. Анализировать большое количество вариантов перепланировки для разработки оптимального решения.

### **Библиографический список**

1. Колчин В.Н. Применение BIM-технологий в строительстве и проектировании / В. Н. Колчин. – Текст: электронный // Инновации и инвестиции. – 2019. – №2. – URL: <http://innovazia.ru/upload/iblock/c9d/№2%202019%20ИИ.pdf>
2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. – Текст: электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197/> (дата обращения: 10.02.2023).
3. Hill, M.C. The impact of physical classroom environment on student satisfaction and student evaluation of teaching in the university environment / M. C. Hill, K. K. Epps. // Academy of Educational Leadership Journal. – 2010. – Volume 14, Number 4. – URL: <https://digitalcommons.kennesaw.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2311&context=facpubs> (date of the application 14.02.2023). – Text: electronic.
4. Шеметова Е.Г. Исследование освещенности рабочих мест

студентов университета / Е. Г. Шеметова. – Текст: электронный // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – №2-5. – URL : <https://vestnik.kemsu.ru/jour/article/view/1581/1568> (дата обращения: 06.02.2023).

5. Шихов А.Н. Расчет беспрепятственной видимости в зрительных залах : учебно-методическое пособие / А.Н. Шихов, Т.Ю. Запольских, Н.Б. Курякова, ФГОУ ВПО ПНИПУ – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО ПНИПУ, 2017. – 18 с. – Текст: непосредственный.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК СРЕДСТВО УСКОРЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Пантелеенко Л.Д., магистрант,  
Коршикова К.С., магистрант,  
Репрышев Р.М., студент,  
Долженко А.В., ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Информационное моделирование здания – это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматривается как единый объект.

Технология BIM (Building Information Modeling) позволяет создать цифровую точную виртуальную модель здания. Эта технология может быть использована для планирования, проектирования, строительства и эксплуатации объектов. BIM помогает архитекторам, инженерам и строителям визуализировать то, что будет построено в моделируемой среде, чтобы они могли определить потенциальные проблемы проектирования, строительства или эксплуатации. BIM представляет собой новую парадигму в индустрии архитектуры, инжиниринга и строительства, которая поощряет интеграцию ролей всех заинтересованных сторон в проекте.

Но несмотря на многочисленные преимущества новой современной технологии информационного моделирования, применение ее на реальной практике невелико. Так, по данным Минстроя на 2021 год 5-7 % компаний в России использует BIM: по большей части в крупных городах и для реализации мегапроектов [1].

Одним из препятствий внедрения является значительное

увеличение сроков проектирования на начальном этапе перехода компании с плоского 2D-черчения в BIM. В связи с этим актуально применение параметрического моделирования в строительстве, основанного на создании объекта, форма, свойства и функциональное назначение которого будут меняться в зависимости от заданных пользователем параметров.

На практике применяются различные языки и способы параметризации объекта, например, внутренний язык геометрического описания GDL (Geometric Description Language) (рис. 1) или инструмент графического создания библиотечных элементов PARAM-O (рис. 2) в Archicad, создание семейств (набор объектов, не идентичных друг другу, но объединенных набором параметров) в Autodesk Revit, проектирование при помощи плагина Grasshopper в среде Rhino (рис. 3) и др.

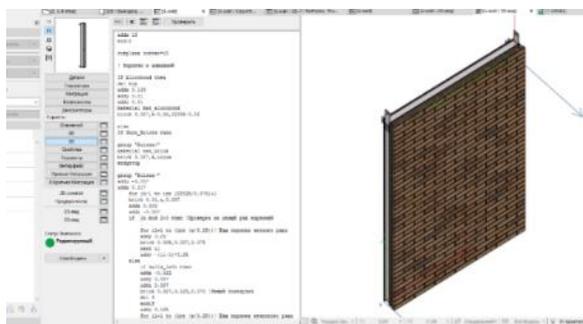


Рис. 1. GDL-скрипт многослойной наружной стены [2]

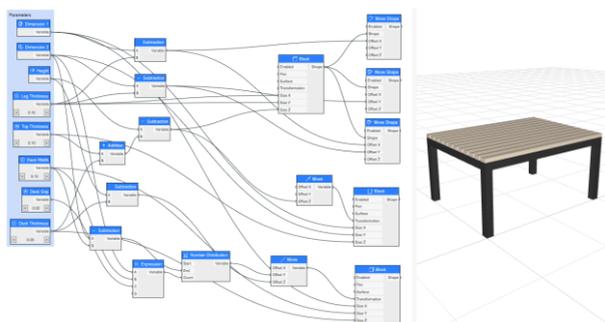


Рис. 2. Создание параметризованного стола в среде PARAM-O

Применение параметризованного объекта во многом упрощает и ускоряет процесс проектирования, особенно когда стоит задача запроектировать множество однотипных объектов, различающихся по нескольким параметрам [3].

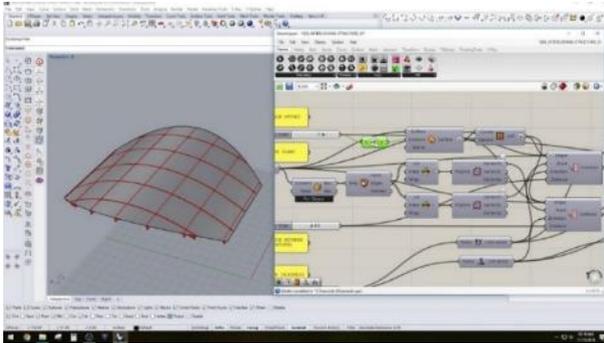


Рис. 3. Создание оболочки в Grasshopper

Ускорение работы заключается в сокращении времени проектирования строительных конструкций за счет применения библиотеки готовых объектов вместо использования стандартных инструментов моделирования, а также в автоматизации формирования спецификации объекта строительства, позволяющей эффективно и быстро оценивать объемы и необходимые ресурсы, в том числе и денежные [4]. Кроме того, перечисленное позволит значительно уменьшить время, затрачиваемое на разработку проектной и сметной документации объекта строительства.

Фактически, параметрическое проектирование посредством имеющихся инструментов (программ, скриптов, определений) совершает управление процессом создания геометрии. Следовательно, если заказчику показалось, что высотное здание спиралевидной фирмы получилось на 10 метров выше, чем хотелось, то от проектировщика требуется лишь изменить имеющиеся параметры и сооружение полностью обновится [5].

Изучив преимущества «умного» объекта можно сделать вывод, что использование параметризации в строительстве позволит в значительной степени ускорить процесс работы, увеличить точность моделирования объекта, а также создать собственную базу готовых параметризованных объектов для многократного использования при проектировании или дизайне.

### Библиографический список

1. BIM-технологии (рынок России). Информационное моделирование зданий и сооружений  
 URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:BIM-технологии\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:BIM-технологии_(рынок_России)) (дата обращения 20.03.2023).
2. GDL vs Grasshopper - URL: [https://openbim.ru/events/publishing/article\\_20170309.html](https://openbim.ru/events/publishing/article_20170309.html) (дата

обращения 20.03.2023).

3. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. № 1. 171-181 с

4. ARCHICAD Training Series Часть 2. Концептуальное проектирование в ARCHICAD архитектора [Электронный ресурс].- ссылка на ресурс:<http://www.graphisoft.ru/learning/trainingmaterials/training-series/volume2.html> (дата обращения: 23.03.23).

5. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. Москва. ДМК Пресс, 2017

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР РЯДА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Пушкарев И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Иванов Д.А., магистрант,  
Рубцов А.И., магистрант**

*Ижевский государственный технический  
университет им. М.Т. Калашикова, г. Ижевск, Россия*

В настоящее время технологии строительной отрасли получают стремительное развитие. Рост темпов строительства зданий и сооружений, постоянно возрастающая конкуренция и мировая практика стимулируют строительные организации на поиск и использование новых методик решения задач проектирования. Именно поэтому самой обсуждаемой технологией в настоящее время является технология информационного моделирования. Информационная модель строительства является цельной системой данных, в которой каждому элементу модели назначены определенные свойства и атрибуты. При этом строительный объект проектируется как единое целое [1].

Не так давно процесс проектирования представлял собой выполнение чертежей вручную, по результатам расчетов, теперь это более совершенное 3D-моделирование конструкций. Но вершиной инноваций в проектировании определенно можно считать внедрение BIM-технологий, одним из этапов которого является конечно-элементный анализ.

Программные комплексы, рассмотренные в данной статье, такие как ANSYS, MSC NASTRAN и ЛИРА САПР осуществляют технологию информационного моделирования зданий. Главной задачей использования данных комплексов является проектирование и расчет строительных конструкций различного назначения. В этих программах можно выполнить прочностное исследование конструкций, учитывая

физические и геометрические нелинейности [2].

Основной целью данной работы является сравнение системных требований, экономических характеристик, а также технической поддержки трех наиболее часто используемых программных комплексов в процессе обучения специалистов второй ступени высшего профессионального образования по направлению «Строительство» и выявление наилучшего варианта на основе составленных таблиц по определенным критериям.

Разработанный еще в XX в. программный комплекс ANSYS на сегодняшний день является одним из наиболее популярных и востребованных средств анализа и проектирования в различных областях промышленности (строительстве зданий и сооружений, железнодорожном и воздушном транспорте, а также автомобилестроении). Решение задач акустики, газа, жидкости, тепла и задач твердых тел и элементов конструкций реализуется при помощи метода конечных элементов (МКЭ) суть которого в разбиении конструкции на элементы [3]. Сам комплекс представляет собой несколько основных программ таких как ANSYS Multiphysics и ANSYS Mechanical, интерфейс которых содержит в себе другие модули комплекса, средства ввода и вывода, а также графическое представление проекта. Он интуитивен и понятен для рядового пользователя, хоть программа не поддерживает русский язык. Комплекс распространяется путем покупки основной лицензии и дополнительных модулей, средняя цена на которые в общем составляет 4 400 долларов (310 000 рублей) в год.

MSC NASTRAN, разработанный еще в семидесятых годах двадцатого века корпорацией MSC Software Corporation для NASA был изначально предназначен для аэрокосмической отрасли, на сегодня является программным комплексом, который используется для расчетов во все мире. Данный комплекс позволяет производить инженерный анализ разных видов, таких как: статика, динамика, устойчивость, акустика, температура и др. Структура комплекса многоуровневая, она позволяет пользователям настраивать и разрабатывать собственные модули расчета, что позволяет настроить его для решения задач более узкого профиля. Основным для расчетов является совместимый с CAD-системами комплекс Inventor NASTRAN, позволяющий конструировать модель в CAD, а потом перенести ее в саму программу [4]. Интерфейс программы прост в использовании для большинства пользователей. Минимальные системные требования можно назвать средними для обычного персонального компьютера, но для комфортной работы потребуется система высокого класса. Как и большинство продуктов компании Autodesk, Inventor NASTRAN распространяется по подписочной модели, стоимость которой составляет 3000 долларов

(211 140 рублей) в год.

В ЛИРА САПР реализован удобный для пользователя интерфейс, и присутствует служба технической поддержки пользователей. Благодаря хорошей оптимизации для устойчивой работы комплекса не требуется персональный компьютер высокой производительности, достаточно будет системы из среднего ценового сегмента. В состав программы входят такие модули как САПФИР, ВИЗОР, Статика и динамика, САПФИР-генератор и Монтаж, которые позволяют производить расчет оболочечных и пространственных систем, массивных конструкций, а также задач статики и динамики [5]. ЛИРА САПР распространяется путем покупки лицензии, стандартный пакет стоит 2 600 долларов (185 000 рублей) в год, также можно приобрести дополнения.

В табл. 1 показаны технические характеристики каждого рассматриваемого программного комплекса.

Таблица 1

**Системные требования программных комплексов**

Программный комплекс	Операционная система	Оперативная память	Жесткий диск	Процессор
ANSYS	64-разрядная версия Microsoft Windows 10	32 Гб+	Твердотельный накопитель объемом 1 Тб с высокой скоростью чтения/записи	3,0 ГГц или выше, 8 или более ядер
Autodesk Inventor NASTRAN	64-разрядная версия Microsoft Windows 10	32 Гб+	Твердотельный накопитель объемом 2 Тб с высокой скоростью чтения/записи	3,0 ГГц или выше, 8 или более ядер
ЛИРА САПР	64-разрядная версия Microsoft Windows 10	16 Гб+	Жесткий диск: до 500 МВ	3,1 ГГц или выше, 4 или более ядер

Техническая поддержка программных комплексов и их стоимостные показатели на 2023 год представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Техническая поддержка и стоимостные показатели программных комплексов**

Программный комплекс	Цена на 2023 год (\$)	Цена на 2023 год (руб)	Техническая поддержка программного комплекса в РФ на 2023 год
ANSYS	4 400	310 000	–
Autodesk Inventor NASTRAN	3 000	211 140	–
ЛИРА САПР	2 600	185 000	+

Таким образом, проанализировав ряд программных комплексов и сравнив их системные требования, экономические характеристики, а также техническую поддержку, можно сделать вывод, что наиболее приемлемым вариантом является комплекс ЛИРА САПР, так как программные комплексы ANSYS и Autodesk Inventor NASTRAN не только не имеют технической поддержки в РФ в настоящее время, но и требуют большой объем оперативной памяти и твердотельного накопителя, что, по сравнению с ЛИРА САПР проигрывает в контексте использования данных программ в обучении специалистов второй степени высшего профессионального образования по направлению «Строительство».

### **Библиографический список**

1. Ковалева Л.В. Применение BIM-технологий в программах подготовки инженерных специалистов / Л.В. Ковалева, Е.С. Завертан // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2019. – № 1-1. – С. 102-104.

2. Иванов В.Е. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций / В.Е. Иванов, А.Ю. Головатенко // Надежность и долговечность машин и механизмов: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Иваново, 15 апреля 2021 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2021. – С. 224-227.

3. Шелемей Е.Н. Обзор графического интерфейса программы ANSYS WORKBENCH / Е.Н. Шелемей, В.Р. Вакулов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 3(57). – С. 178-182.

4. Костюков А.С., Башкиров А.В., Гостев М.Ю. Сравнительный анализ программных комплексов для определения механических характеристик РЭС / А.С. Костюков, А.В. Башкиров, М.Ю. Гостев [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 117-126.

5. Еремин А.В. Использование программного комплекса ЛИРА-САПР для проверки аналитического расчета фермы / А.В. Еремин, В.П. Волокитин, Ф.М. Абрамов // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. – № 1. – С. 186-190.

# **НАПРАВЛЕНИЕ 3 СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКОЙ**

## **РАЗВИТИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ СТРАТЕГИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**Абсиметов В. Э., д-р техн. наук, проф.,  
Салтанова Е. В., ст. преп.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

До 1990 года в гражданском строительстве за счет бюджетных средств строилось порядка 75 % процентов жилья. Сейчас эта доля сократилась до 5 % процентов. Лишь 2 % от всех строительных работ осуществляются государственными организациями, остальное выполняют предприятия с иными формами собственности [1].

Застройщики продолжают возводить однотипные многоэтажные здания, не учитывая транспортную и социальную и инфраструктуры. Такие параметры как средний размер квартир и этажность изменяются в одном направлении. Площадь квартир уменьшается, а этажность растет [2].

Главным строителем в настоящее время является не государство, а население. Оно платит, строит и предъявляет требования к результату. С начала 2021 года в России было выдано почти 1,4 тысячи разрешений на индивидуальное жилищное строительство площадью более 11,0 млн. м<sup>2</sup>.

Согласно проведенному исследованию Всероссийского центра изучения общественного мнения около 19,7 млн. семей (56 %) живущих в квартирах граждан Российской Федерации хотят проживать в индивидуальных домах.

Индивидуальное жилищное строительство стало одним из перспективных направлений в развитии строительного комплекса РФ [3]. Доля ИЖС в общем объеме строительства в 2022 году приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Доля ИЖС в общем объеме строительства в 2022 г.**

Федеральный округ	Доля ИЖС в общем объеме строительства, %	Общая площадь построенного жилья, млн.м <sup>2</sup>	Площадь жилья построенного населением, млн.м <sup>2</sup>
Северо-Кавказский	83,6	2,23	1,86
Дальневосточный	73,0	1,06	0,77
Южный	70,6	4,95	3,49
Приволжский	66,4	6,74	4,48
Центральный	63,0	12,46	7,87

Для обеспечения развития индустриального строительства индивидуальных жилых домов на территориях комплексного развития необходимо выполнить ряд задач [4-6]:

1. Обеспечить доступность строительства за счет ипотечного кредитования. В настоящее время в сегменте многоквартирных домов каждая вторая квартира сегодня покупается с ипотекой, а в секторе ИЖС – не более 5 %. С июня 2022 года правительство запустило льготную ипотечную программу на строительство частных жилых домов своими силами. В 2022 году российские банки выдали кредитов на индивидуальное жилищное строительство (ИЖС) на сумму 140 млрд рублей, что выше показателя 2021 года более чем в три раза.

2. Планируется подготовить под строительство и обеспечить инфраструктурой земельные участки в населенных пунктах дополнительно более 70 тыс. га земли.

3. Обеспечить подключение к инженерно-техническим сетям. Для этого необходимо внедрение эффективной системы газификации, газоснабжения населения в субъектах РФ.

4. Сформировать механизмы управления комплексами ИЖС. Планируется в 2023 году утвердить новый «зеленый» стандарт по управлению ИЖС.

По оценкам Национального объединения строителей (НОСТРОЙ), только за 11 месяцев 2022 года ввод ИЖС вырос более чем на 20 % по сравнению с аналогичным периодом 2021 года.

В 2019 году в России прошла реформа долевого строительства. Теперь деньги поступают на банковский счет – эскроу, а не передаются напрямую застройщику. Получить их застройщик может только при выполнении всех обязательств. По этой схеме строится более 83 % всех многоквартирных домов в России. На счетах эскроу на июль 2022 года находилось 3.9 трлн. руб. Такой механизм долевого строительства начал распространяться на деятельность по строительству объектов

индивидуального жилищного строительства.

У строителей существует запрос на предложения в части нормативного регулирования малоэтажного строительства, на новые подходы в части использования методов организации работы, современных материалов и на разработки типовых проектов. В 2023 году планируется принять национальный «зеленый» стандарт для ИЖС. Первые стандарты, разработанные Техническим комитетом, были утверждены в 2019 году и касались общих понятий и терминологии. В 2020 году вступил в силу национальный стандарт по устройству «зеленых» крыш, а в 2022 году – стандарт по «зеленым» многоквартирным домам. В 2025 году предполагается утвердить стандарт для проектирования, строительства и эксплуатации «зеленых» общественных зданий.

Кроме этого завершена интеграция суперсервиса «Цифровое строительство» для индивидуального жилищного строительства с порталом Госуслуг. На сервисе можно выбрать подходящую ипотечную программу, качественный проект и ответственного подрядчика. в настоящий момент представлены более 7000 проектов индивидуальных жилых домов, выполненных по различным технологиям с применением различных материалов стен: газобетонные блоки, составляют 36,5 % от общего объема применяемых материалов; керамзитобетонные блоки – 15,1 %; деревянные каркасные – 15, 6 %; кирпич – 7,7 %; клееный брус – 6,1 %; каркасно-панельные – 5,5 %; прочее – 13,5 % [7].

Создание условий для запуска массового строительства индивидуальных жилых домов индустриальным способом невозможно без создания инновационной отрасли малой стройиндустрии. Небольшие предприятия по выпуску объемных модулей для комплектации быстровозводимых, малоэтажных, комплексных застроек легко впишутся в регионах [7].

В настоящее время уже активно применяются технологии модульного строительства, включая деревянное домостроение, производства и применения домокомплектов. Минстрой РФ рассматривает возможность уже в 2023 году распространить механизм эскроу-счетов на производство готовых домокомплектов.

В рамках развития малоэтажного строительства ДОМ. РФ совместно с Минстроем России и Ассоциацией деревянного домостроения (АДД) провел конкурс типовых проектов деревянного домостроения, по итогам которого появилось 25 проектов ИЖС.

Важными преимуществами индустриального домостроения являются сокращение сроков строительства, высокое качество строительства, которое можно контролировать на всех этапах, и относительно низкая себестоимость.

Малоэтажное строительство становится основой для реализации национальных проектов. Выполнение всех указанных задач позволит обеспечить запуск массового строительства индивидуальных жилых домов индустриальным способом и сформировать механизм управления индивидуальными жилыми поселками. В результате этого станет возможным обеспечение объема строительства ИЖС в размере до 60 млн кв. метров ежегодно к 2030 году.

### **Библиографический список**

1. Паспорт национального проекта "Жилье и городская среда" (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. N 16)
2. Донченко О.М. Актуальные проблемы капитального строительства // Материалы IV Международной научно-практической конференции "Наука и инновации в строительстве", посвященной 50-летию кафедры СиГХ. Сборник докладов. Том 1. - Белгород: 2022. - С. 205-216.
3. Аналитический центр ДОМ.РФ <https://www.xn--d1aqf.xn--p1ai/analytics/housing-construction/>
4. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года Распоряжение правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р.
5. Перечень инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 6.10. 2021 года № 2816-р.
6. План мероприятий «дорожная карта» по упрощению строительства индивидуального жилья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации 31.03. 2021 года № 2959п-П49.
7. Портал строи.дом.рф <https://xn--h1aieheg.xn--d1aqf.xn--p1ai/igsttps://rosbuildexpo.ru/ru/media/news/index.php?id4=17908>
8. Пириев Ю.С. Применение пенобетона в современном строительстве // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 65 – летию БГТУ им. В. Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации (XXIII научные чтения)» (г. Белгород). Сборник докладов. Белгород 29 апреля 2019 г. (ЭР).
9. Пириев Ю.С., Мазитова Л.Ф., Алехина А.А. Строительство домов из пенобетона // Материалы V международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве» (г. Белгород). Сборник докладов. Том 2. Белгород, 14 апреля 2021 года. – С. 53–56.

## **ДРОНЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ**

**Коршикова К.С., магистрант,  
Пантелеенко Л.Д., магистрант  
Суворова М.О., ст.преп.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В последние годы беспилотники стали одной из самых интересных тенденций в строительной отрасли. Использование дронов в строительной отрасли за год увеличилось на 239 %, что больше, чем показатели в любой другой отрасли. Благодаря тому, что дроны способны собирать информацию с высоты птичьего полета, их по праву называют ценным инструментом. В частности, преимущества технологии беспилотников произвели революцию во всем жизненном цикле проекта, начиная от фазы планирования до завершения строительства [1]. Фотографии и видео с беспилотников используются для мониторинга проектов, отслеживания хода строительства и предоставления обновлений в режиме реального времени. Кроме того, компании используют БПЛА в целях обеспечения безопасности объекта.

На стратегической сессии «Применение беспилотных авиационных систем в стройкомплексе» Константин Михайлик, заместитель Министра строительства и ЖКХ РФ, отметил следующее: «Использование беспилотников в стройотрасли – насущная необходимость, которая позволит решить большое количество вопросов. Перед нами сейчас стоит задача по оптимизации требований и правил их использования, а также формирование подхода к БПЛА, как к комплексной услуге в стройотрасли. Минстрой России активно включился в эту работу».

Действительно, строительная отрасль с каждым годом развивается, на смену простым и несложным проектам приходят уникальные здания и сооружения [2]. Вместе с этим расширяется повсеместное использование дронов.

35 % опрошенных компаний, которые сообщили об использовании дронов, указали, что они работают в сфере строительства и инжиниринга. Благодаря записи данных в режиме реального времени и уникальному преимуществу в воздухе, дроны могут повысить эффективность, сократить расходы и оптимизировать рабочий процесс. К числу ключевых задач, решаемых с помощью БПЛА, относят:

*Топографическая съемка и картография*

Дроны используют для планировочных работ под застройку

объектов и при разработке генпланов территорий. Благодаря своей способности составлять карты огромных площадей, беспилотники экспоненциально сокращают время, затрачиваемое на визуализацию топографии участка, а данные, полученные с дрона, являются подложкой сверхточных 3D-моделей. Это помогает поддерживать проект в соответствии с графиком и бюджетом и обеспечивает точность до начала проекта.

Специальное программное обеспечение позволяет быстро сравнить полученную информацию с проектными данными и импортировать их в проект. Лазеры–сканеры после облета дроном выдают точные сведения о рельефах местности и имеющихся постройках. Несмотря на полезность и необходимость топографических карт, они не всегда вовремя обновляются из-за высокой стоимости и затрачиваемого времени. С использованием же БПЛА топографические данные становятся доступнее, а карты более достоверными и актуальными.

#### *Информирование заказчика*

Фотографии, видео и 3D-модели, созданные с помощью беспилотников, можно использовать для предоставления заказчиком подробных отчетов о ходе работ на объекте в режиме реального времени. В крупных строительных проектах на разных строительных площадках часто присутствует множество заинтересованных сторон, которые хотят знать, как продвигаются работы.

Без беспилотника для сбора визуальных данных заказчиком пришлось бы лично приезжать на объект, чтобы посмотреть, как продвигаются работы. Однако уже на следующий день полученные данные устаревают и не являются точными.

Поскольку стоимость съемки ортомозаичных карт с помощью дрона на строительной площадке относительно невелика, теперь можно регулярно отправлять отчеты клиентам, чтобы они были в курсе хода работ и убедились в том, что их расходы используются эффективно.

#### *Удаленный мониторинг за ходом работ*

Карты строительной площадки, созданные с использованием беспилотников, также могут помочь руководителям проектов контролировать производительность своей команды.

Можно удаленно контролировать точность монтажа конструкций, соблюдение подрядчиком технологии, темп работ, обнаружение дефектов. Данные с беспилотника можно просматривать в режиме реального времени с различных устройств, а алгоритм автоматического отслеживания изменений дает полную картину всего процесса строительства, начиная с нулевого цикла и заканчивая сдачей объекта.

Проектные группы, инженеры, руководители строительства, рабочие и владельцы могут одновременно получать доступ к таким данным, следить за проектом и выявлять любые ошибки, которые могли произойти.

Кроме того, заменив громоздкие строительные леса, дроны могут обеспечить важнейший контроль. Их можно отправить вокруг зданий и сооружений, чтобы проверить стабильность и мелкие детали, а также делать снимки с высоким разрешением для анализа. Тепловые датчики могут обнаруживать утечки тепла, холодные точки и любые электрические проблемы. Этот уровень гарантии качества помогает в отношениях с клиентами в долгосрочной перспективе.

Дроны также могут использоваться для планового технического обслуживания крупномасштабных сооружений, таких как мосты, башни, крыши. Задача, на выполнение которой потребовалась бы целая команда геодезистов, с оператором дрона заняла бы всего несколько часов.

#### *Наблюдение за безопасностью*

С помощью квадрокоптера можно осуществлять беспилотное патрулирование строящихся зданий и наблюдение за строительными материалами и оборудованием. Охранное наблюдение за сооружениями многократно снижает производственные затраты. Данные с беспилотника можно получать как снаружи, так и изнутри, при этом обследование происходит с высокой точностью.

Ежедневная информация о местоположении оборудования и стройматериалов является полезным инструментом для обеспечения безопасности рабочих на стройке и безопасности самих активов.

Кроме того, обладая информацией об имеющихся строительных материалах и конструкциях, можно более точно планировать управление запасами на рабочей площадке. Понимание того, сколько материала осталось (и где он находится), помогает логистике.

#### *Перемещение грузов*

Дроны часто используются в качестве помощников на строительной площадке: для перемещения небольших грузов или установки легких конструкций на высоте, для остекления и очистки стеклянных конструкций на больших площадях. Чтобы не подвергать опасности жизнь и здоровье рабочих, все чаще некоторые задачи доверяют специализированным машинам [3].

Идея использования беспилотников в строительстве зародилась уже давно. Лидеры отрасли внедряют новые технологии в рабочий процесс, что позволяет снизить затраты, при одновременном повышении эффективности, и максимизировать потенциальную прибыль [4]. В 2016 году, например, беспилотники заняли воздушное

пространство 50 строительных площадок в Москве. По словам одного из застройщиков, за первые три месяца использования дронов инвестору удалось сэкономить около 30 миллионов рублей за счет сокращения сумм, завышенных подрядчиками в сметах [5].

Группа компаний «Самолет» активно использует в своей работе беспилотные летательные аппараты. Съемка с дрона позволяет детально оценить рельеф, определить объем работ с точностью до 2 см, скорректировать и спланировать работы по вертикальному выравниванию в считанные минуты. На высокоточные фотографии с дрона наложить чертежи - расположение зданий, ландшафт, проектные слои, - которые позволяют контролировать выполнение проектной документации, увидеть и исключить любые ошибки.

Группа компаний "Гранель" использует беспилотники в своей работе с 2015 года, рассказал Михаил Царев, директор департамента маркетинга и рекламы компании. По его словам, дроны используются для мониторинга строительства жилых комплексов. Каждые две недели на сайте компании и в официальных социальных сетях публикуются видеоролики и изображения. Основная цель заключается в информировании покупателей жилья о ходе реализации проектов.

Крупномасштабный генеральный подрядчик Hensel Phelps впервые использовал технологию беспилотников более десяти лет назад. С тех пор компания Hensel Phelps стала одним из главных сторонников применения беспилотников в строительной отрасли. Компания использует беспилотники в первую очередь для повышения безопасности рабочих и безопасности в целом. Благодаря исключительному усердию в соблюдении всех требований и успешной практике применения, строительная компания получила разрешение от Федерального управления гражданской авиации США на запуск беспилотников в зоны, где люди работают на земле. Дроны помогают в планировании стройплощадки, осмотре и мониторинге рабочих зон, инспекции зданий и наблюдении за безопасностью. Объем данных, предоставляемых дронами для съемки, позволяет проводить аналитические исследования и получать прогнозные данные, которые помогают выполнять работу не только эффективно, но и безопасно.

Европейская компания STRABAG также отмечает, что беспилотники являются важной частью рабочего процесса. Дроны, обеспечивающие воздушную съемку больших территорий, на которых строятся автомагистрали, облегчили сбор данных и их интеграцию непосредственно в цифровые платформы компании. 3D-модели, созданные на основе пространственных данных, имеют высокую плотность точек. Поэтому сотрудники компании могут получать цифровые рабочие планы более высокого качества, чем те, которые

создаются исключительно с помощью наземной съемки.

Как мы видим, компании уже начинают широко использовать дроны в отрасли, но это только начало. Строительная отрасль активно использует новейшие инструменты и технологии [6]. Дроны творят чудеса: во время мониторинга они не вмешиваются в технологические процессы на строительной площадке, дистанционно управляются и меняют углы и точки обзора, чего не может сделать обычный человек. Результаты наземных наблюдений уступают данным, полученным с помощью дрона, по всем параметрам. Скорость получения, стоимость и точность полученных данных с помощью беспилотника - это реальная экономия времени и финансовых средств.

### **Библиографический список**

1. Кудасова А.С., Тютина А.Д., Сокольников Э.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8(80). С. 31-38.

2. Наумов А.Е., Крутилова М.О., Чуева Ю.А. BIM-технологии как эффективное средство повышения качества обслуживания зданий // Zbornik radova.VISOKE TEHNIŠKE ŠKOLE STRUKOVNIH STUDIJA. Ниш, 2018. С. 144-146.

3. Котова Т.В. Важные применения дронов и БПЛА в мониторинге строительства // Развитие науки в XXI веке: сборник научных трудов по материалам I Международной междисциплинарной конференции. Москва: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ТОЛМАЧЕВО", 2022. С. 5-8.

4. Aicardi I., Chiabrando F., Grasso N., Lingua A.M., Noardo F., Spanò A. UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. Прага: ISPRS. 2016. №41. pp. 835-842.

5. Антончик Т.В. Дроны: новая система контроля за строительством // Наука, образование и инновации. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017. С.826–28.

6. Абакумов Р.Г. Цифровая трансформация системы взаимодействия в области инвестиционно-строительной деятельности на основе развития информационной системы обеспечения градостроительной деятельности // Цифровая экономика: проблемы и перспективы развития: сборник научных статей Межрегиональной научно-практической конференции. 2019. С. 13-18.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

**Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.,  
Кочерженко А.А., студент,  
Андреева Д.А., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В последние годы разработаны и начинают широко применяться новые высокоэффективные конструкции и технологии устройства свайных фундаментов [1-5].

К таким новым конструкциям и технологиям устройства свайных фундаментов можно отнести:

- фундаменты из забивных пустотных свай [1-3, 5];
- трансформируемые забивные сваи [21];
- сборные сваи-оболочки [2, 4];
- модульные забивные сваи [5];
- целевые фундаменты [2, 4].

В БГТУ им. В.Г. Шухова разработаны и запатентованы новые способы возведения буронабивных свай-оболочек: виброэлектровacuумный способ [19] и буронабивная свая-оболочка, возведенная с использованием торкретирования бетонной смеси (торкрет – свая – оболочка).

Учитывая, что вибрирование – общепринятый способ уплотнения бетонной смеси [18, 20], его применили как основной, при возведении буронабивной сваи-оболочки, путем установки вибратора внутри сердечника (см. рис. 1). Теоретическое и экспериментальное изучения вакуумирования бетонной смеси представлено в работах [6-10]. На основе этих исследований была высказана гипотеза о возможном использовании вакуумирования бетонной смеси при возведении монолитной сваи-оболочки. Поэтому при совершенствовании конструктивно-технологических решений возведения буронабивных свай-оболочек был принят метод вакуумирования [19].

В работах [11-14] авторами доказано положительное влияние электронасоса на уплотнение бетонной смеси, в связи с этим для надежного обеспечения устойчивости бетонной смеси в оболочке сваи, при ее формировании в грунте, был использован и электроосмос.

Таким образом виброэлектровacuумированный способ возведения буронабивной сваи-оболочки предусматривает выполнение следующих операций:

- бурение скважины диаметром 0,6-1,2 м.;
- устраивание на дне скважины днища;
- опускание в скважину арматурного каркаса;
- опускание на днище по центру скважины цилиндрического сердечника (формообразователя), диаметр которого на 300-400 мм меньше диаметра скважины;
- подача в скважину литую бетонную смесь, с таким расчетом, чтобы над сердечником находился слой бетона 0,5-1,0 м на протяжении возведения оболочки сваи.

Внутри сердечника-формообразователя устанавливают: вибратор, вакуумную установку и электропроводку с подключением отрицательного полюса на корпус сердечника, а арматурный каркас подключают к положительному полюсу. Перед подъемом сердечника включают в работу вибратор, вакуумную установку и электроосмос. В зависимости от толщины стенок сваи-оболочки рассчитывают скорость подъема сердечника. Использование виброэлектровacuумирования надежно обеспечивает устойчивость бетонной смеси в стенках сваи-оболочки. Технологическая схема возведения буронабивной сваи-оболочки с использованием способа виброэлектровacuумирования приводится на рис. 1.

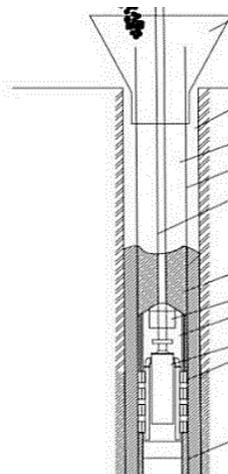


Рис. 1. Технологическая схема возведения буронабивной виброэлектровacuумной сваи-оболочки в устойчивых грунтах: 1 – скважина, 2 – ось скважины, 3 – арматурный каркас, 4 – направляющая воронка, 5 – бетонная смесь, 6 – полая штанга, 7- цилиндрический формообразователь (сердечник), 8 – вибратор, 9 – сопла для вакуумирования бетона, 10 – емкость для воды, 11 – бетон оболочки, подвергнутый воздействию вибрации, вакуумирования и электроосмоса, 12 – железобетонное днище

Многолетний опыт нанесения бетонной смеси по вертикальным поверхностям с помощью метода торкретирования показал его эффективность, это отражено в работах [15-18, 20]. Была высказана гипотеза использования метода торкретирования бетонной смеси по стенкам скважины в несколько слоев для создания буронабивной сваи-оболочки. Конструктивно-технологическая схема возведения торкрет-сваи-оболочки приведена на рис. 2.

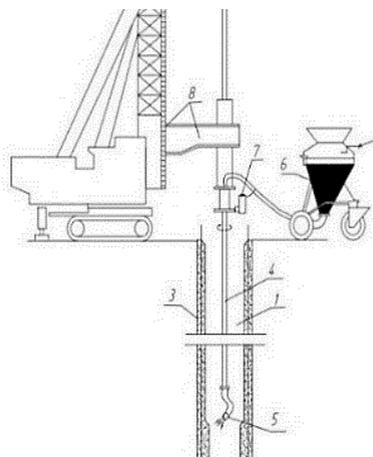


Рис. 2. Технологическая схема возведения буронабивной торкрет-сваи-оболочки: 1 – скважина, 2 – дно скважины, 3 – арматурный каркас, 4 – бетоновод, 5 – сопло, 6 – пневмомагнетательная установка, 7 – электродвигатель, 8 – механизм подъема и опускания бетоновода с соплом

Сущность технологии «торкрет-свая-оболочка» включает в себя последовательное выполнение следующих операций:

- бурение скважины диаметром 0,6-1,2 м;
- бетонирование на дне скважины дна;
- установка в скважину арматурного каркаса;
- опускание по оси скважины трубчатый бетоновод с соплами в нижней части и подключенный к пневмомагнетательной установке.

С помощью электродвигателя бетоноводу с соплами придают вращение вокруг оси и наносят по стенкам скважины слой торкретбетона. По мере нанесения слоев торкретбетона осуществляют подъем и опускание бетоновода с соплами от дна до устья скважины.

Таким образом, разработанные конструктивно-технологические решения возведения буронабивных свай-оболочек позволяет снизить на 35-40 % расход бетона и повысить несущую способность свай за счет

существенного увеличения силы трения на боковой поверхности сваи. Кроме этого с достаточной вероятностью обеспечивается устойчивость бетонной смеси при формировании оболочки.

Объединение в один рабочий процесс подачу, укладку и уплотнение бетонной смеси в оболочку сваи позволяет сократить число операций, а, следовательно, сократить продолжительность, трудоемкость и себестоимость возведения свайных буронабивных фундаментов.

### **Библиографический список**

1. Мангушев Р.А. и др. Современные свайные технологии (2-е дополненное издание) – М.: Издательство АСВ, 2010. – С. 240.
2. Мангушев Р.А., Чотман А.Л., Знаменский В.В., Понамарев А.Б. Свои и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии/ Под ред. чл.-корр. РААСН, д-ра Техн. наук, профессора Р.А. Мангушева. 2-е издание, строительное – М.: Изд-во АСВ. С. 218 – 320.
3. СП24.13330 - 2021. Свайные фундаменты (актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85) – М.: Стандартинформ, 2021.
4. Смородинов М.И., Егоров А.И., Чубанов Е.М. и др. Свайные работы/ под ред. М.И. Смородинова. 2-е изд., - М.: Стройиздат, 1988. – С. 223
5. Кочерженко В.В. Инновационные свайные технологии (забивные сваи) монография/ В.В. Кочерженко, Л. А. Сулиманова, А.В. Кочерженко; Белгород: Изд-во БГТУ 2021 – С. 93.
6. Методические рекомендации по устройству бетонных конструкций методом вакумирования бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1984.
7. Гершберг О.А. Вакумирование бетона в монолитных конструкциях. М., Госстройиздат, 1952.
8. Гершберг О.А., Десов А.Е., Итин А.Е. Вакум-бетон. М.-Л., Гостстройиздат, 1940.
9. Гордон С.С. Вакумирование бетона. М.: Машстройиздат, 1949.
10. Десов А.Е. Внутреннее вакумирование монолитного и сборного железобетона: - Строит. Пром-сть, 1950, №12.
11. Бирюков А.И. Исследование влияния частоты электрического поля на твердение вяжущих/ А.И. Бирюков, Арк. Н. Плучин, А.П. Старосельский//Коллоидный журнал АН СССР. – 1980. Т.XL||. - Вып. 2. С. 326 – 329.
12. Тихомолова К.П. Электроосмос. М.: Ленинград «Химия»

Ленинградское отделение, 1989.

13. Вершинин Ю.Н. О влиянии переменных электрических полей на процессы кристаллизационного структурообразования в водных перенасыщенных растворах/ Ю.Н. Вершинин// Кристаллизация и фазовые переходы: сб. – Минск: Акад. Наук БССР, 1962. – с. 133-141.

14. Степаненко М.Г. Формулирование цементного камня при электрохимической активации/ А.И. Бирюков, Арк. Н. Плучин, А.П. Старосельский// Труды Харьковского института инженеров транспорта (ХИИТА). – 1966. С. 72-74.

15. Брукс Г. и др. Торкрет-бетон, торкрет-цемент, торкрет-штукатурка/ Г. Брукс, Р. Линтер, Г. Руфферт; Пер. с нем. М.В. Алешечкиной, З.А. Липкинды; Под ред. Л.А. Феднера. – М.: Стройиздат, 1985. – 205с.

16. ВСН 126-90 Крепление выработок набрызг бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ. – М.: Минтрансстрой СССР, 1991.

17. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. ОАО «ЦНИИПром. зданий» Шифр М10.1/06. М., 2007.

18. Атаев С.С. Технология индустриального строительства из монолитного бетона – М.: Стройиздат, 1989. – С. 336.

19. Способ возведения набивной сваи – оболочка: патент №2739531, МПК E02D 5/38/ В.В. Кочерженко, А.И. Лукьянов, В.А. Тюфанов (РФ) – опубл. 25.12.2020 Бюл. №36.

20. Кочерженко В.В., Никулин А.И. Технологические процессы в строительстве: Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – С. 288.

21. Забивная трансформируемая свая. – Патент на полезную модель №173756/ Кочерженко В.В., Мигрин Д.А. Опубл. 20.04. 2013. Бюл. №11.

## **МЕТОДЫ МОНТАЖА БЛОКА ПОКРЫТИЯ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ**

**Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.,  
Атапина Н.А., магистрант**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Монтаж строительных конструкций является одним из основных комплексно-механизированных процессов при возведении зданий и

сооружений или их частей из заранее изготовленных элементов. Традиционно важно продумать порядок использования и оптимизации транспортных, такелажных и чисто монтажных процессов и операций, которые во многом способствуют развитию не только объемно-планировочных, но и конструктивных решений монтируемых конструкций объектов.

Возведение одноэтажных промышленных зданий выполняется, как правило, двумя технологическими потоками. Первый – это монтаж конструкций несущего каркаса: колонны, подкрановые балки, несущие конструкции покрытия (фермы, балки), плиты покрытия. Второй – монтаж стенового ограждения [1].

В зависимости от последовательности монтажа отдельных конструкций несущего каркаса различают следующие методы монтажа:

- раздельный (дифференцированный) метод, который предусматривает последовательную установку, временное и окончательное закрепление всех конструктивных однотипных элементов в пределах захватки и последующий монтаж конструкций другого типа. Например, сначала монтируют колонны на всей захватке, подкрановые балки, затем – балки (фермы), после этого – элементы покрытия;

- комплексный метод монтажа предусматривает установку и окончательное закрепление всех конструктивных элементов одной ячейки здания, образующих жесткую устойчивую систему – «ядро жесткости». То есть, например, вначале устанавливают четыре колонны, затем две подкрановые балки, после этого – две фермы (балки) и в последнюю очередь – плиты покрытия (перекрытия);

- комбинированный (смешанный) метод монтажа представляет собой сочетание раздельного и комплексного методов. Отдельным монтажным потоком устанавливают все колонны на захватке, затем с учетом обеспечения безопасных условий труда осуществляется монтаж всех остальных конструкций комплексным методом. Этот метод монтажа наиболее эффективен, так как при минимальном количестве монтажных стоянок крана обеспечивает ритмичную работу полного монтажного потока. При данном методе возведение несущего каркаса промышленного здания начинают с монтажа всех колонн на захватке [2-5].

Монтаж колонн включает приемку фундаментов (проверку их размеров, положение закладных деталей) с геодезической проверкой положения их осей и высотных отметок dna стакана.

По четырем граням подколонника сверху него краской наносят осевые риски. На колоннах осевые риски наносятся на заводе изготовителя. На колонны высотой более 12 м закрепляют хомуты или струбцины для их временного крепления. Колонны предварительно раскладывают у мест монтажа. Недостаток строповки с помощью универсальных стропов (обычных захватов) состоит в том, что при расстроповке монтажник должен подниматься на устанавливаемую колонну. Чтобы избежать этого, применяют захваты, позволяющие выполнять расстроповку с земли (рис. 1) [6, 7].

Траверсы и захваты подвешивают к крюку крана за проушины или кольца (иногда при помощи стальных канатов).

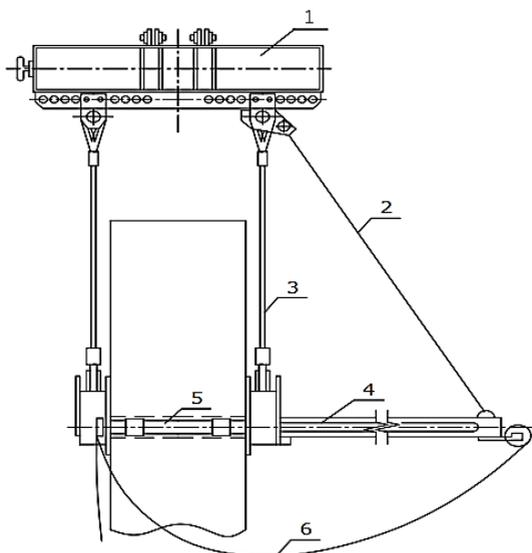


Рис. 1. Захват для монтажа железобетонных колонн:

- 1 – универсальная траверса; 2 – натяжная цепь; 3 – несущий канат;  
4 – направляющий штырь; 5 – несущий палец; 6 – расстроповочный канат

Способ монтажа колонн выбирают в зависимости от их высоты и массы. Колонны легкого типа высотой до 10 м, как правило, монтируют «на весу» (рис. 2) или «поворотом».

Тяжелые высокие колонны поднимают и переводят в проектное положение способом «скольжения» (рис. 3).

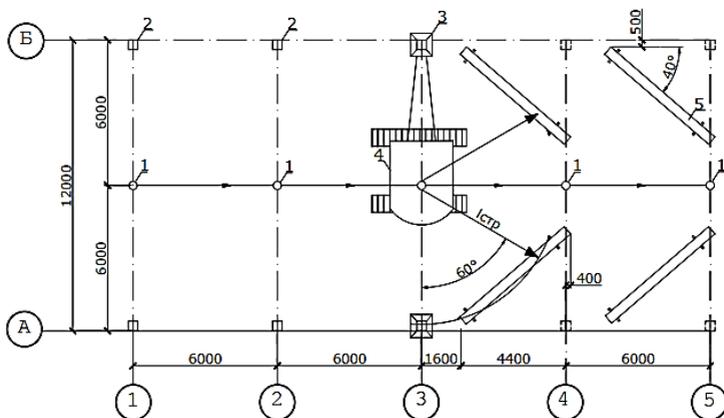


Рис. 2. Технологическая схема монтажа колонн способом «на весу»:  
 1 – стоянки гусеничного крана; 2 – смонтированные колонны; 3 – кондуктор;  
 4 – гусеничный кран; 5 – колонны, подготовленные к монтажу

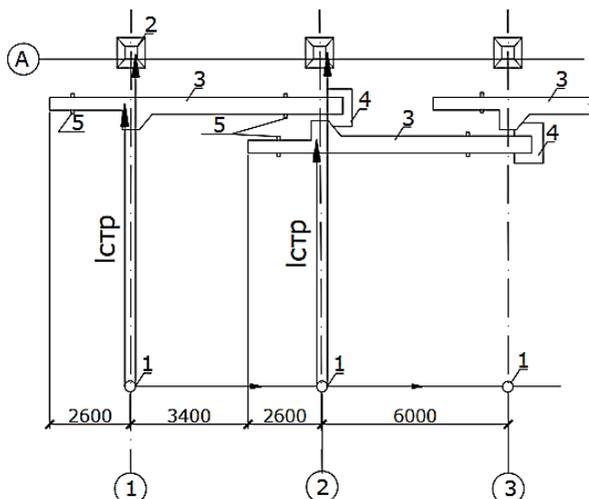


Рис. 3. Технологическая схема монтажа колонн способом «скольжения»:  
 1 – стоянка гусеничного крана; 2 – кондуктор; 3 – колонны, подготовленные  
 к монтажу; 4 – тележка; 5 – подкладки

Монтаж подкрановых балок на захватке начинают после того, как прочность бетона в стыках колонн с фундаментом достигнет не менее 75 % от проектного значения (рис. 4).

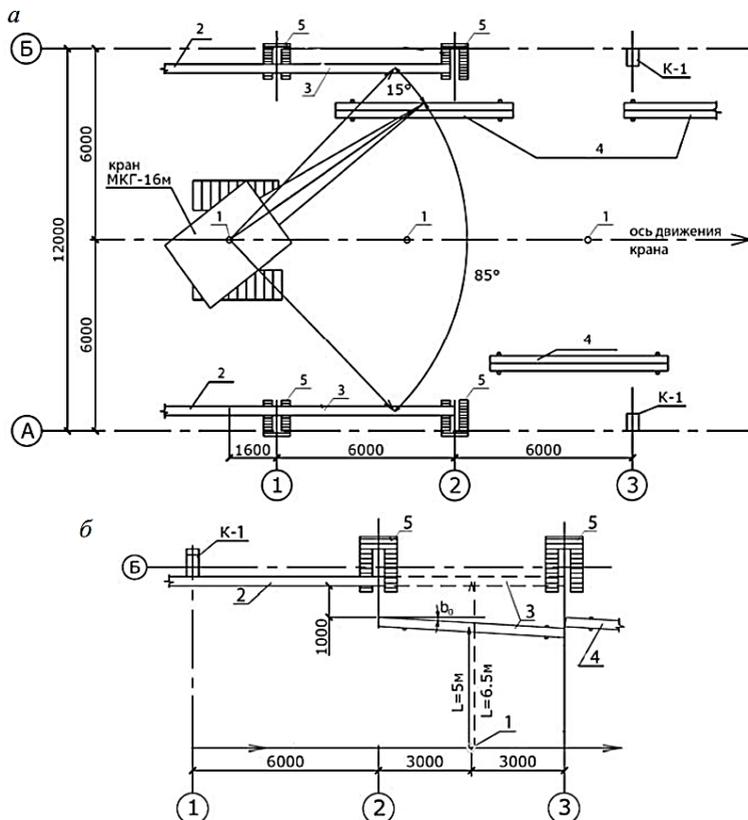


Рис. 4. Технологические схемы монтажа подкрановых балок:  
*a* – поворотом стрелы крана; *б* – изменением вылета стрелы; 1 – стоянки гусеничного крана; 2 – смонтированные подкрановые балки; 3 – монтируемая подкрановая балка; 4 – подкрановые балки, подготовленные к монтажу; 5 – приставная лестница-площадка; К-1 – смонтированная колонна;  
 $L = 5$  м,  $L = 6,5$  м – вылеты стрелы крана

Монтаж несущих конструкций покрытия может выполняться с предварительной раскладкой конструкций у мест монтажа или непосредственно с транспортных средств – то есть с «колес».

Раскладку ферм и балок производят вдоль пролета таким образом, чтобы кран с монтажной стоянки мог устанавливать их в проектное положение без изменения вылета стрелы (рис. 5) [8].

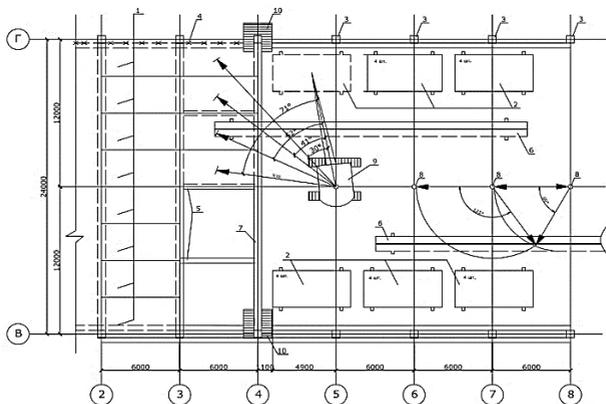


Рис. 5. Технологическая схема монтажа конструкций покрытия и плит покрытия: 1 – смонтированные плиты покрытия; 2 – складированные плиты покрытия; 3 – смонтированные колонны; 4 – временное ограждение; 5 – связи-распорки; 6 – складированные фермы; 7 – смонтированные фермы; 8 – стоянки гусеничного крана; 9 – гусеничный кран; 10 – приставная лестница-площадка

Выверка, выведение балок (ферм) на опоре в проектное положение и временное их закрепление осуществляются с использованием специального кондуктора (рис. 6).

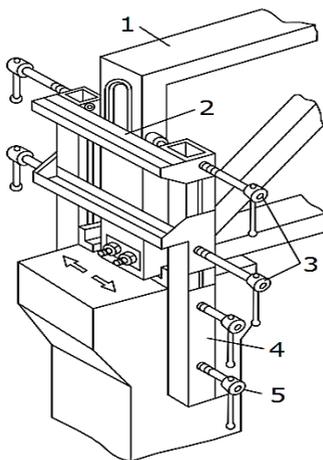


Рис. 6. Кондуктор для выверки и временного закрепления на опоре ферм (балок) покрытия в проектное положение: 1 – ферма (балка); 2 – связь; 3 – регулировочные винты; 4 – обойма кондуктора; 5 – зажимной винт

Монтаж плит покрытия для обеспечения жесткости покрытия ячейки ведется сразу после работ по установке и постоянному закреплению на опорах несущих конструкций покрытия ячейки. Для безопасной работы на высоте перед подъемом плиты снабжают временным инвентарным ограждением. Перед подъемом их крепят к плитам за монтажные петли клиньями (рис. 7, а) или с помощью специальных болтов (рис. 7, б) [9, 10].

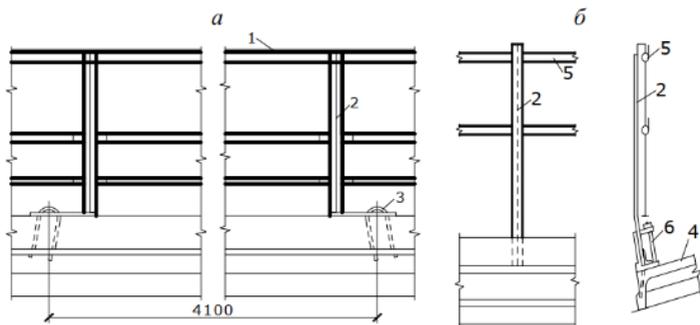


Рис. 7. Временное ограждение по плитам покрытия (перекрытия):  
 а – с закреплением к плитам клиньями; б – с закреплением к плитам болтами;  
 1 – перила; 2 – стойка; 3 – клин; 4 – железобетонная плита;  
 5 – тросовое ограждение; 6 – болтовой элемент крепления

При рассмотрении различных схем организации монтажа рассматривается несколько вариантов, отличающихся как числом, так и марками используемых кранов. Число вариантов резко возрастает при варьировании условиями производства работ, такими как последовательность монтажа, направления ведения монтажных работ и др. Поэтому при выборе способов и технологических схем монтажа одноэтажных промышленных зданий унифицированных типовых секций необходимо производить экономическое сравнение возможных вариантов.

Основными показателями при сравнении вариантов принимаются продолжительность монтажа, затраты труда и машинного времени, приходящиеся на ячейку секции.

### Библиографический список

1. Литвинов О.О., Беляков Ю.И. Технология строительного производства. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 479.
2. Патент РФ на изобретение №1656100, 15.06.1991. Способ монтажа покрытия здания // Советский патент № 1656100. 1991. Бюл.

№ 22. / Кочерженко В.В., Колчунов В.И., Кочерженко А.В.

3. Kocherzhenko, V., Suleymanova, L., Ryabchevskiy, I. Block-span method of roofing structures assembling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Т. 896. С. 012021.

4. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А. Технология и организация возведения большепролетных и высотных зданий и сооружений. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – С. 178.

5. Атапина Н.А. Горбачев Д.М. Совершенствование блочно-пролетного метода монтажа конструкций покрытия одноэтажных промышленных зданий // VII Международный студенческий строительный форум – 2022: сб. докл.: – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. С. 160-164.

6. Юргайтис А.Ю., Зеленцов А.А. Технологические особенности методов монтажа покрытий большепролетных зданий и сооружений // Технология и организация строительного производства. 2017. № 3(4). С. 14-17.

7. Серов В.М. и др. Организация и управление в строительстве. – М.: Академия, 2006. – 432 с.

8. Данилов Н.Н. Технология строительного производства. – М., 2000. – С. 420.

9. Швыденко В.И. Монтаж строительных конструкций. - Харьков. Высшая школа, 1982. – С. 240.

10. Горобец Г.С. Технология монтажа строительных конструкций: учеб. пособие. - М.: 2011. – С. 372.

## **РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА МОНТАЖА ГИБКИХ ВАНТ С ПОМОЩЬЮ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ КВАДРОКОПТЕРОВ**

**Кочерженко В.В., канд. техн. наук., проф.,  
Рекунов Н.О., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В настоящее время вантовые покрытия широко распространены в строительстве, потому что они обладают рядом преимуществ перед другими строительными конструкциями. Например, они способны перекрывать большепролетные здания и сооружения, в которых нет промежуточных опор, а также с их помощью можно создавать строительные объекты специфической криволинейной формы, соответствующей любому возможному архитектурному замыслу [2].

Помимо вышеперечисленных достоинств, вантовые конструкции

экономически выгодны по сравнению с другими большепролетными конструкциями (балочными, купольными и др.), так как расход материала на единицу перекрываемой площади минимален (вес очень мал).

Но такие конструкции имеют и недостатки, главный из которых – декоративность под воздействием нагрузок. Чтобы устранить этот недостаток, конструкции необходимо предварительно напрягать, т.е. сделать ее геометрически неизменяемой, что позволит воспринимать сжимающие напряжения, и тогда декоративность можно рассматривать как особенность данного вида конструкций. [4].

В вантовых покрытиях вероятность возникновения резонанса на порядок выше, чем в обычных конструкциях, потому что частота вынужденных колебаний нередко совпадает с частотой гармонической силы. [1].

Наиболее трудоемкой частью строительного процесса является монтаж вантовой сети. Ванты в опорном контуре закрепляют с помощью анкеров, состоящих из гильзы и клиньев, в которых обжимаются концы каждого каната. Затем производят натяжение вант гидравлическим домкратом. По системе продольных и поперечных вант, расположенных под углом в  $90^\circ$  друг к другу, укладывают плиты покрытий. Снова происходит натяжение уже загруженной вантовой сети до проектных усилий, а затем замоноличивают швы между плитами и вантами. Таким образом, получают сборно-монокристальную преднапряженную конструкцию, которая работает как единое целое. Технологии монтажа значительно отличаются друг от друга, потому что отсутствуют типовые решения для большепролетных покрытий. Поэтому при проектировании зданий и сооружений рассматривают несколько вариантов покрытий, которые могут быть использованы, сравнивают их и выбирают наиболее оптимальный вариант, соответствующий заявленным заказчиком требованиям по прочности, технологичности и другим технико-экономическим показателям.

В современном мире для упрощения монтажа можно использовать строительно-монтажные квадрокоптеры. Для этого рассмотрим и сравним два способа их применения [3].

Известен способ монтажа гибких вант однопоисных большепролетных висячих покрытий, принятый за прототип, который предусматривает раскладку вант на земле в направлении пролета, подъем конца ванты с помощью монтажного крана и заведение ванты в проходной канал опорного контура с помощью лебедки и закрепление каната анкером, затем краном поднимается второй конец и заводится в проходной канал и закрепляется анкером, таким образом крепятся все

канаты, после чего с помощью домкратов на канаты дается натяжение 10-15 % от расчетного.

С существенными признаками изобретения совпадает следующая совокупность признаков: раскладка на земле вант, подъем конца ванты, заведение ванты в проходной канал опорного контура с помощью лебедки и закрепление каната анкером, затем краном поднимается второй конец и заводится в проходной канал и закрепляется анкером, таким образом крятся все канаты, после чего с помощью домкратов на канаты дается натяжение 10-15 % от расчетного.

Технической проблемой прототипа является необходимость использования башенных кранов для подъема сначала одного конца ванты, затем другого и заведение их в проходной канал опорного контура.

Недостатком прототипа является высокая машиноемкость монтажа гибких вант, связанная с использованием башенных кранов, которое требует значительных затрат на их установку, демонтаж, устройство крановых путей, эксплуатацию и обслуживание.

Использование строительно-монтажных квадрокоптеров направлено на значительное уменьшение расходов на процесс монтажа гибких вант путем отказа от использования башенных кранов и применение для подачи обоих концов каната квадрокоптеров, которые не требуют затрат на установку, демонтаж, устройство крановых путей, эксплуатацию и обслуживания башенных кранов [6].

Это достигается тем, что способ монтажа гибких вантов, включающий раскладку вант на земле, подъем сначала одного конца ванты, затем другого, заведение их в проходной канал опорного контура с помощью лебедки и закрепление обоих концов каната анкером, после чего с помощью домкратов на канаты дается натяжение 10 – 15 % от расчетного. В предлагаемом решении процесс монтажа гибких вант осуществляется путем использования строительно-монтажных квадрокоптеров, которые крепятся к канату с помощью трубчатой траверсы с возможностью автоматической расстроповки и подают на проектную отметку и крепится на опорном контуре, метод изображен на рис. 1.

На рис. 1 изображена гибкая ванта 1, разложенная на земле, которая доставлена и развернута с барабана 2, первый (правый) конец ванты 3, поднятый с помощью строительно-монтажных квадрокоптеров 4 и трубчатых траверс 5 с автоматической расстроповкой. Первый конец ванты 3 заведен в проходной канал 6 в опорном контуре 7 с помощью лебедки 8 и закреплен анкером 9. Второй (левый) конец 10 ванты 1, поднятый с помощью строительно-монтажных квадрокоптеров 4 с

траверсой 5 на проектную отметку, заводится в проходной канал 6 в опорном контуре 7 с помощью лебедки 8 и закреплен на опорном контуре 7 анкером 10 [7].

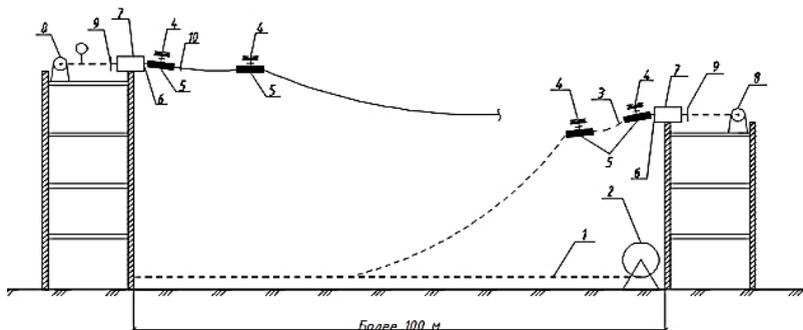


Рис. 1. Этапы монтажа гибкой венты с использованием строительно-монтажных квадрокоптеров

Предлагаемый способ монтажа гибких вант включает доставку гибкой венты 1 на барабане 2 и разворачивание ее на земле. Один из концов венты 1 с помощью трубчатой траверсы 5 крепится к строительно-монтажному квадрокоптеру 4 (грузоподъемностью 100-150 кг, скорость подъема (с грузом) – м/с; скорость перемещения по горизонтали – м/с) и поднимается на проектную отметку. Управление монтажно-строительным квадрокоптером 4 осуществляется либо в ручном режиме оператором (на рисунке не показан), либо квадрокоптеры 4 запрограммированы на автономный режим работы с целью доставать конец венты 1 в проходной канал 6 в опорном контуре 7. После доставки конца 3 венты 1 в проходной канал 6 трубчатая траверса 5 автоматически расстраивается и квадрокоптеры 4 возвращаются на исходную позицию для монтажа следующей венты. Предварительно напряжение венты осуществляется с помощью домкратов.

На рис. 2 изображен способ монтажа одновременно двух концов 3 и 10 гибкой венты 1 с целью сокращения времени установки венты и сокращения сроков строительства покрытия. Разложенная на земле гибкая ванта 1 строится с помощью трубчатые траверсы 5 к строительно-монтажным квадрокоптерам 4 одновременно за оба конца 3 и 10. Чтобы избежать большого прогиба венты при монтаже ее также крепят к квадрокоптеру 4 в центре пролета. Оба конца венты синхронно поднимаются на проектные отметки, заводят в проходные каналы 6 в

опорном контуре 7 с помощью лебедки 8 и закрепляют анкером 9. Трубчатые траверсы 5 автоматически расстраиваются после доставки концов 3 и 10 гибкой ванты 1 в проходной канал 6 в опорном контуре 7. Предварительное преднапряжение вант 1 производят с помощью домкратов (на рис. не показан). Окончательное напряжение вантовой системы производят путем установки на ванты несущих железобетонных плит покрытия (массой 100-150 кг/м<sup>2</sup>).

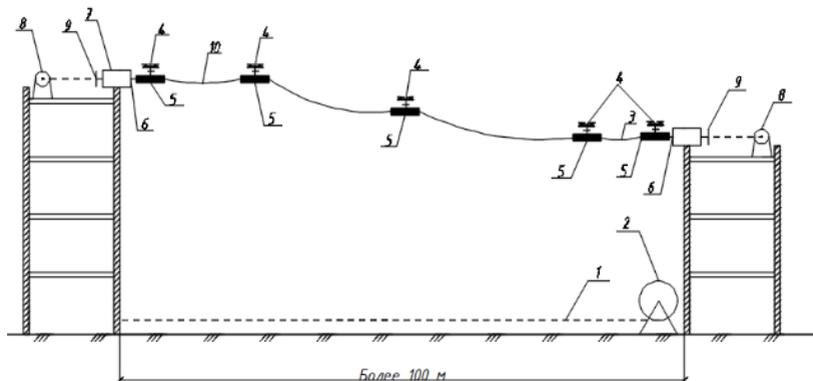


Рис. 2. Способ монтажа одновременно двух концов гибкой ванты

Таким образом использование данного метода значительно снижает машиноёмкость и трудоёмкость монтажа гибких вант. Преимущества, которыми обладают строительно-монтажные квадрокоптеры невозможно отрицать. Это направление развивается и совершенствуется.

### Библиографический список

1. Кирсанов Н.М. Висячие и вантовые конструкции: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1981. С. 158.
2. Швиденко В.И. Монтаж строительных конструкций. М.: Высш. шк., 1987. С. 423.
3. Дмитриев Л.Г., Касилов А.В. Вантовые покрытия. // Расчет и конструирование. Киев: «Будівельник», 1974. С. 272.
4. Агеева, Е.Ю., Тишков, В.А. и др. Конструктивные особенности висячих покрытий в общественных зданиях: учеб. пособие для вузов - Нижний Новгород: ННГАСУ, 2015. С. 87.
5. Кривошапко С.Н. Висячие тросовые конструкции и покрытия сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №7(34).

6. Кочерженко В.В., Кочерженко А.В. Основы технологии возведения зданий и сооружений: учеб. пособие / В.В. Кочерженко, А.В. Кочерженко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 249.

7. Пашкова Л.А., Денисова Ю.В. Эволюция большепролетных сооружений на примере олимпийских объектов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 88-93.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ**

**Шарапов О.Н., ст. преп.,  
Скачкова Ю.В., магистрант,  
Рябухина И.Е., магистрант,  
Лемешко А.С., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В проекте производства железобетонных работ должны быть разработаны способы доставки бетона, опалубки и арматуры, намечены места их укладки или установки, а также и сами методы выполнения работ, выбраны механизмы, их типы, число, способы монтажа, приспособления для перемещения и укладки бетона.

Разработка проекта технологии производства железобетонных работ ведется в следующем порядке [1]:

- установление перечня рабочих процессов, последовательности и методов их выполнения;
- членение сооружения на ярусы;
- определение объемов и трудоемкости работ по ярусам;
- определение количества захваток по ярусам с указанием мест рабочих швов;
- расчет состава рабочих бригад;
- расчет необходимого оборудования и приспособлений;
- разработка суточного графика производства работ;
- определение оборачиваемости опалубки;
- определение потребных ресурсов;
- определение технико-экономических показателей процесса производства работ; разработка мероприятий по технике безопасности и противопожарной технике.

Комплексный процесс производства железобетонных работ состоит в основном в проведении следующих монтажно-укладочных процессов:

- установка опалубки и лесов;
- установка арматуры;

- укладка бетонной смеси в бетонизируемые конструкции;
- уход за бетоном;
- распалубка.

Каждый такой процесс выполняет специализированная бригада плотников, арматурщиков, бетонщиков. Как правило, рабочие процессы выполняются в указанной последовательности, однако в ряде случаев возможны отклонения. Так, например, в ступенчатых фундаментах, тонких стенах и других конструкциях: установка арматуры предшествует установке опалубки; при арматурно-опалубочных блоках установку опалубки и арматуры совмещают в одном процессе-монтаже блоков; при необходимости устройства сложных лесов процесс установки лесов и опалубки расчленяют на два простых процесса – установку лесов и установку опалубки.

Для организации бесперебойного выполнения всех работ необходимо возводимое сооружение разбить на технологические ярусы и захватки [2].

Ярусы представляют собой горизонтальные полосы, на которых фронт работ открывается в процессе их выполнения. Высота яруса определяется условиями возможного расположения рабочих швов в бетоне, организацией транспорта бетона и укладки его в опалубку. В многоэтажном здании обычно ярусом является каждый этаж (независимо от его высоты), включая колонны и перекрытия; первым ярусом – фундаменты колонн.

При разбивке на захватки следует учитывать следующее: захватки, как правило, должны быть равновелики по трудоемкости; отклонение от средней трудоемкости не должно превышать 25-30 % [3]:

наименьший, размер захватки должен быть достаточным для производительной работы звена минимального состава на протяжении смены; наибольший размер захватки по объему работ должен соответствовать принятой максимальной интенсивности работ; размер захватки должен соответствовать блоку бетонирования, участку, на котором укладка бетона производится без перерыва; в ряде случаев захватка может включать несколько блоков бетонирования; границы захваток необходимо назначать в местах, где допускается устройство рабочих швов, а также в местах температурных швов здания или сооружения. В этом случае границами ярусов обычно являются уровни перекрытий. В связи с этим в каждом ярусе назначается в дальнейшем соответствующее объему работ на нем число захваток.

Объем работ подсчитывается по конструктивным элементам и видам работ для каждого яруса в отдельности. Степень детализации должна отвечать принятой структуре процесса и дифференциации,

указанной в действующих производственных нормах [4].

Трудоемкость работ и средняя норма выработки по отдельным процессам определяются на основании действующих производственных норм, в соответствии с принятыми методами производства работ для каждого яруса в отдельности.

Если опалубку и поддерживающие стойки устанавливает одна бригада, средняя норма выработки приводится к количеству квадратных метров опалубки путем включения трудоемкости работ по установке стоек в трудоемкость по установке щитов опалубки.

Максимальное количество необходимых сменных захваток на всех ярусах в зависимости от заданного срока производства работ  $T$  определяется по формуле:

$$\sum_1^a m = \frac{A}{k}(T - t_m) - n + 1 \quad (1)$$

где  $a$  – количество ярусов,  $m$  – количество захваток на ярусе,  $A$  – количество рабочих смен в сутки, принимается обычно равным одной или двум сменам,  $k$  – модуль цикличности (продолжительность работ на захватке), обычно принимается равным или кратным одной смене,  $T$  – заданный общий срок производства железобетонных работ на объекте,  $t_m$  – время твердения бетона от момента окончания укладки до распалубки, дн.,  $n$  – количество простых процессов, включая распалубку.

Для обеспечения непрерывности простых процессов необходимо, чтобы к моменту перехода на следующий ярус бетон на первой захватке нижележащего яруса приобрел прочность не ниже  $12 \text{ кг/см}^2$ , при которой допускается передвижение рабочих по забетонированной конструкции. В связи с этим число захваток на каждом ярусе должно быть не ниже некоторого минимума [5].

$$m_{\min} = \frac{At_1}{k} + n - 1, \quad (2)$$

где  $t_1$  – время выдерживания бетона до приобретения им прочности  $12 \text{ кг/см}^2$ .

Если ярусы имеют различную трудоемкость, для получения равнопоточности число захваток на ярусе надо определять по формулам:

$$m_1 = \frac{Q_1}{Q_{\min}} \left( \frac{At_1}{k} + n - 1 \right); \quad (3)$$

$$m_2 = \frac{Q_2}{Q_{\min}} \left( \frac{At_1}{k} + n - 1 \right); \quad (4)$$

$$m_a = \frac{Q_a}{Q_{\min}} \left( \frac{At_1}{k} + n - 1 \right), \quad (5)$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_a$  – расчетное число захваток соответственно на 1, 2, а ярусе,  $Q_{\min}$  – минимальная трудоемкость бетонных работ на ярусе,  $Q_1, Q_2, \dots, Q_a$  – трудоемкость бетонных работ на 1, 2, ..., а ярусе.

Исходя из принятой интенсивности работ, ярусы разбивают на захватки, располагая в каждом из них не меньше  $m_{\min}$  захваток и соблюдая общие правила распределения размера захваток и расположения их границ в пределах, допустимых для устройства рабочих швов. В многоэтажных зданиях с однотипными перекрытиями количество захваток обычно на всех ярусах одинаково. [6]

Среднее значение интенсивности потока бетонных работ  $I_{\text{ср}}$  определяется по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{P}{k \sum_1^a m}, \quad (6)$$

где  $P$  – общий объем бетонных работ в  $\text{м}^3$ .

Оборачиваемость опалубки  $z$  определяется как частное от деления длительности установки однотипной опалубки на всем объекте  $T_{\text{оп}}$  на длительность цикла оборота одного комплекта опалубки  $t_{\text{ц}}$

$$z = \frac{T_{\text{оп}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{\sum_1^a m}{n-1 + \frac{A \Gamma_T}{k}}. \quad (7)$$

Необходимое количество комплектов опалубки  $U$  определяется по формуле:

$$U = n - 1 + \frac{A \Gamma_T}{k} \quad (8)$$

Оборачиваемость опалубки и необходимое количество комплектов определяется отдельно для боковой и несущей опалубки.

Состав бригады для выполнения простого процесса на данном ярусе определяется по формуле:

$$N'_a = \frac{Q_a}{k m_a}, \quad (9)$$

где  $N_a$  – количество рабочих в бригаде, выполняющих простой процесс на данном ярусе,  $Q_a$  – трудоемкость работ простого процесса на ярусе в чел/сменах,  $m_a$  – количество захваток на данном ярусе.

Состав бригады на ярусах необходимо стремиться сохранить постоянным регулируя колебания в расчетном составе проектированием перевыполнения норм выработки.

Для первого яруса (бетонирование фундаментов) составы бригад берутся меньшими, чем на последующих ярусах.

Тип вибратора выбирается применительно к видам бетонируемых конструкций. Количество вибраторов определяется по формуле:

$$N_B = \frac{I}{S_B}, \quad (10)$$

где  $I$  – поток бетона в смену,  $S_B$  – производительность вибратора в смену.

Количество машин, необходимых для транспорта материалов, определяется по формуле:

$$N_M = \frac{I_1}{S_M}, \quad (11)$$

где  $I_1$  – сменный поток данного вида материалов,  $S_M$  – норма выработки машин в смену по данному материалу.

Укладка бетонной смеси в сооружение является ведущей работой в комплексном процессе производства железобетонных работ. Все остальные работы: установка опалубки, арматуры, приготовление бетонной смеси, транспортировка ее и распалубка – должны вестись такими темпами и в таком порядке, чтобы не задерживать основной работы – укладки бетонной смеси, и чтобы всегда был достаточный фронт для выполнения этой работы.

#### **Библиографический список**

1. Григорьев Э.П., Гусаков А.А., Зейтун Ж., Порада С. Архитектурно-строительное проектирование. Методология и автоматизация: Совм. изд. СССР- Франция /Э.П. Григорьев, А.А. Гусаков, Ж.Зейтун, С.Порада; Под ред. А.А. Гусакова.- М.: Стройиздат, 1986.- С. 240.
2. Афанасьев А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. М., 1990.- С. 380.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем, - М.: Наука, 1978. – С. 400.
4. Гусаков А.А. Основы проектирования организации строительного производства (в условиях АСУ). – М.: Стройиздат, 1977.- С. 285.
5. Кафтаева М.В., Шарапов О.Н., Аниканова Т.В. Городские инженерные сооружения и системы: [учебное пособие: в 2 ч.] - Белгород: БГТУ.
6. Смоляго Г.А., Дронов В.И. Проектирование несущих железобетонных конструкций одноэтажного промышленного здания: учебное пособие / - Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 76.

## **НАПРАВЛЕНИЕ 4 УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **СИСТЕМА ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРОЕКТНОЙ ПОДГОТОВКИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Альмухаметова А.Р., студент,  
Симченко О.Л., канд. экон. наук, доц.**  
*Ижевский государственный технический  
университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия*

Развитие социальной инфраструктуры, городского пространства, условий, во многом определяет повышение качества жизни населения, развитие экономики, степень обеспечения безопасности человека, удовлетворенность его потребностей, а также интеллектуальный и культурный рост.

Согласно данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Удмуртской Республике, представленным в разделе об основных итогах строительства по Удмуртской Республике за январь-декабрь 2022 г, количество введенных зданий составляет 7066 единиц, общим строительным объемом 6578,2 тыс.м<sup>2</sup>. Введено в действие общеобразовательных организаций общим количеством 2049 ученических мест, дошкольных образовательных организаций – 880 мест, амбулаторно-поликлинических организаций – 1160 посещений в смену [1]. На сегодняшний день, в соответствии с Распоряжением Правительства Удмуртской Республики от 03.02.2023 г. №58-р «Об утверждении Адресной инвестиционной программы Удмуртской Республики на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 гг.», объем бюджетных ассигнований, предоставляемых на осуществление капитальных вложений в 2023 г. составляет 3211584,8 и включает в себя реализацию 63 объектов строительства различных отраслей [2].

Объект капитального строительства может быть введен в эксплуатацию только при условии выполнения работ в полном объеме согласно проектной документации, разрешению на строительство, при соответствии построенного здания требованиям действующих нормативных документов.

При этом требования к зданию формируются застройщиком (техническим заказчиком) на этапе предпроектной работы. Данный процесс представляет собой комплекс мероприятий, который позволяет

распорядителю бюджетных средств определить возможности и варианты осуществления инвестиционно-строительного проекта. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что жизненный цикл здания берет свое начало задолго до начала строительства и успешный ввод объекта в эксплуатацию в положенный срок зависит не только от качества и срока проведения данного этапа, но и от грамотной предпроектной проработки. Повышение эффективности предпроектных работ ведет к уменьшению продолжительности операций, трудозатрат, и, как следствие, увеличению числа объектов, готовых к эксплуатации.

Целью настоящего исследования является выявление и систематизация факторов повышения эффективности предпроектной подготовки объектов строительства.

В рамках работы над материалом исследования выполняются следующие задачи:

- Систематизация процедур на этапе предпроектной подготовки объектов строительства;
- Анализ основных проблем, возникающих в рамках процедур предпроектной подготовки объектов строительства;
- Исследование факторов, влияющих на повышение эффективности процедур предпроектной подготовки объектов строительства.

Особенности работы организаций, выполняющих предпроектные работы, отражаются в научных трудах Невмержицкого В.Л. [3], Филиппова А.С. [4], Чеготовой Е.В. [5], Журавлева П.А. [6]. Теоретические аспекты организационно-правовых форм хозяйствующих субъектов строительной деятельности, а также принципы взаимодействия участников строительства рассмотрены в материалах Таранухи Н.Л. [7]. Монография Грахова В.П., Чазова Е.Л., Симченко О.Л., Кисляковой Ю.Г. и Симаковой У.Ф., посвященная управлению рисками инвестиционных проектов, внесла вклад в теоретическом представлении о всевозможных проблемах при реализации программы строительного производства [8]. Авторы рассматривают возможности возникновения рисков с различных позиций, что позволяет более объективно оценивать деятельность участников процедур на этапе предпроектной подготовки объектов строительства.

Предпроектные процедуры являются разнотипными, то есть выполняются по разным правилам и относятся к разным сферам деятельности, при этом каждая в отдельности требует точной и оперативной проработки. Укрупненно их можно представить следующим образом:

- оформление прав на земельный участок;
- эскизное архитектурное проектирование и согласование решений;
- осуществление сбора исходно-разрешительной документации (ИРД);
- разработка технического задания;
- организация и контроль проведения инженерных изысканий;
- получение положительного заключения государственной/негосударственной экспертизы результатов инженерных изысканий.

Также организация застройщика (технического заказчика) выполняет важную роль: осуществляет координацию между контрольно-надзорными органами, снабжающими и обслуживающими организациями.

Исследуя сформированные процедуры, на сегодняшний день можно выделить ряд проблем, возникающих на этапе предпроектной подготовки объектов строительства.

Не редко встречаются трудности при выборе земельного участка (далее – ЗУ) и оформлении правоустанавливающих документов. Земельный участок может не соответствовать всем критериям.

В случае некомпетентности исполнителя эскизного проекта, возникает необходимость в многочисленных корректировках и последующих согласованиях облика проектируемого здания, что занимает дополнительное время.

В процессе оформления технических условий на подключение объекта к инженерным коммуникациям, необходимых мощностей может быть недостаточно. В том числе присутствует возможность того, что полученных технических условий будет недостаточно в результате неполноты информации или неточного расчета потребности в ресурсах.

Разработка технического задания на стадии предпроектной подготовки объектов строительства сопровождается дополнительными согласованиями с заказчиком, не единожды подвергается корректировке со стороны других участников реализации проекта, если его качество и степень проработки является невысоким.

Во время выбора исполнительных организаций (на проектные и изыскательские работы) не исключено, что организация технического заказчика столкнется с жалобами участников конкурса, неправильным определением цен, задержкой сроков заключения договора. Все это подразумевает увеличение продолжительности работ и относятся к непредвиденным обстоятельствам. При проведении непосредственно самих инженерных изысканий может увеличиваться время подготовки отчетов о проделанной работе, не исключено нарушение договора со стороны подрядчиков.

Процедура прохождения государственной/негосударственной экспертизы может потребовать внесения изменений и исправлений в комплект документации, его доработки при несоответствии действующим нормативам и обнаружении недостатков.

Так, на основе выявленных проблем, представляется возможным определить и исследовать факторы, влияющие на повышение эффективности процедур предпроектной подготовки объектов строительства.

К ним можно отнести следующие:

1. Слаженность действий технического заказчика с другими участниками.
2. Соблюдение алгоритма исполнения процедур.
3. Квалификация кадров и их численность.
4. Устойчивость финансирования.
5. Своевременное предоставление документации в полном объеме.
6. Своевременный контроль и внесение изменений в документацию.

Эффективное осуществление проекта в намеченные сроки напрямую зависит от слаженного взаимодействия участников инвестиционного процесса. Недостатки в данном направлении приводят в первую очередь к увеличению продолжительности и снижению качества проводимых работ.

Ряд факторов являются взаимоувязанными, при этом общим является организационно-технологический непрофессионализм участников. Например, недостаточно владеть информацией и навыками лишь в области строительства, техническому заказчику необходимо обладать компетенциями и в смежных отраслях: документооборот, экономика, экология, землеустройство, менеджмент и так далее.

Устойчивость и стабильность финансирования, своевременная оплата осуществленных стадий работ также основательно определяет результаты деятельности.

Для формирования набора управленческих процессов и оценки возможности более эффективного управления, с оптимальным использованием имеющихся ресурсов, необходимо классифицировать и систематизировать факторы, стимулирующие повышение эффективности предпроектных работ (рис. 1).

Наиболее распространенным и применимым видом классификации является разделение факторов в зависимости от среды – на внутренние и внешние. Факторы внутренней среды организации непосредственно зависят от ее деятельности.

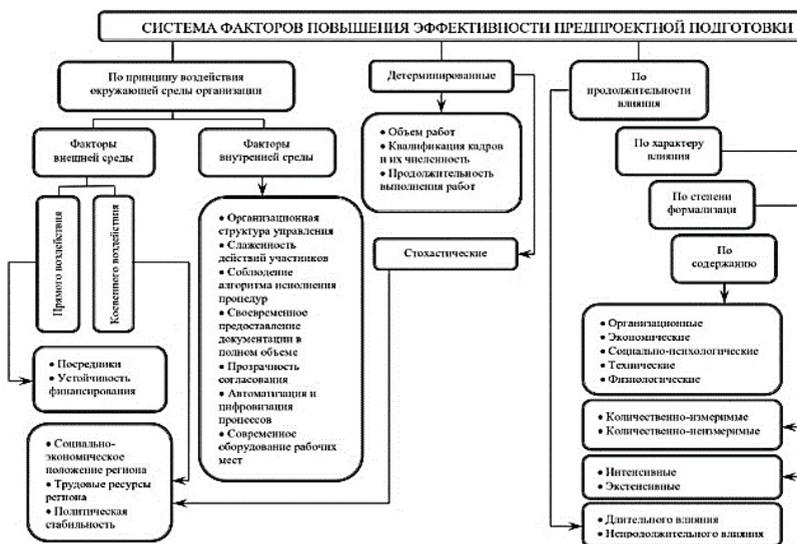


Рис. 1. Система факторов повышения эффективности предпроектной подготовки

Внешние факторы возникают вне предприятия и не поддаются его воздействию, компания может лишь прогнозировать степень их влияния. Кроме того, в соответствии с факторным анализом можно дополнительно дифференцировать элементы на детерминированные и стохастические модели. То есть, факторы, которые однозначно определены и их значение/исход известны в момент принятия решения, будут являться детерминированными. Стохастические, в свою очередь, предполагают наличие элемента неопределенности, учитывают возможное вероятностное распределение значений факторов и параметров, определяющих развитие процессов.

Другой подход к классификации факторов применяет в своих трудах Березицкий С.А. [9]. Факторы, влияющие на эффективность, подразделяются по продолжительности влияния, характеру влияния, степени формализации и содержанию.

Таким образом, наглядная система факторов повышения эффективности предпроектной подготовки позволит оценить деятельность организаций и оптимизировать работу. Пренебрежение указанными факторами может привести к дисбалансу процессов и снижению эффективности производства работ.

### Библиографический список

1. Строительство. – Текст: электронный // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Удмуртской Республике: [сайт]. – URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51959> (дата обращения: 22.03.2023);
2. Строительство объектов социальной сферы. – Текст: электронный // Министерство строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Удмуртской Республики: [сайт]. – URL: <http://minstroy.ru/taxonomy/term/1044> (дата обращения: 22.03.2023);
3. Невмержицкий В.Л. Технический заказчик / В.Л. Невмержицкий // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты – №25 – 2016. – С. 6-10;
4. Филиппов А.С. Роль и место технического заказчика в инвестиционно-строительном проекте / А.С. Филиппов // Вестник гражданских инженеров – №2 – 2016. – С. 352-358;
5. Чеготова Е.В. Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности / Е.В. Чеготова // Инженерно-строительный журнал – №3 – 2012. – С. 5-11;
6. Журавлев П.А. Особенности предпроектных проработок в инвестиционно-строительной деятельности (часть 1) / П.А. Журавлев, А.М. Марукян // Инженерно-строительный вестник Прикаспия – №3(37) – 2021. – С. 10-16;
7. Тарануха Н.Л. Организационные формы управления инвестиционно-строительной деятельностью в сфере жилищного строительства / Н.Л. Тарануха, В.Н. Баринов // Вестник Ижевского государственного технического университета – №1(41) – 2009. – С.74-75;
8. Грахов В.П. Разработка методического инструментария управления рисками инвестиционных проектов на примере предприятия нефтедобывающей отрасли: монография / В. П. Грахов [и др.]. – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020. – 108 с;
9. Березицкий С.А. Система факторов, определяющих эффективность бизнес-процесса «Производство» / С.А. Березицкий // Экономика и управление – 2014. – С. 65-70.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ И ПРОДУКЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Водолазская Н.В.**, канд. техн. наук, доц.  
*Белгородский государственный аграрный  
университет имени В.Я. Горина, г. Белгород, Россия*

Повышение надежности промышленной продукции, в том числе и продукции строительного назначения, является одной из важнейших составляющих системы обеспечения качества [1-3]. Поэтому приобретают актуальность маркетинговые исследования процессов моделирования этапов жизненного цикла производственных систем, позволяющих проводить современную модернизацию производства, разрабатывать и применять инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития на различных уровнях управления, начиная от предприятия и заканчивая регионом и обществом в целом [4-6].

Строительная отрасль играет значительную роль в российской экономике. Строительство, обеспечивает воспроизводство основных фондов во всех отраслях экономики, имеет многочисленные межотраслевые связи и высокий мультипликативный эффект. Более 50 % совокупных инвестиций в основной капитал приходится на строительство зданий (жилых и нежилых) и сооружений. В строительной отрасли формируется 6 % совокупной валовой добавленной стоимости (ВДС) по экономике в целом. Основные положения о строительной отрасли и стратегия ее развития изложены в Проекте Стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 г [7].

Реализация этой Стратегии развития возможна только при наличии компетентной, направленной, прежде всего, на рост инновационной активности и производительности труда, которая будет обеспечиваться совершенствованием нормативно-правового и нормативно-технического регулирования, и происходить с учетом территориальной специфики и высокой степени диверсификации социально-экономического развития субъектов Российской Федерации. Перечисленные мероприятия невозможны без расширения использования технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства [8, 9]. Переход на подобное регулирование всех градостроительных процессов, критерием которого является связанность и алгоритмизация, позволит переводить все без исключения административные процедуры и технологические процессы в электронный вид. Одновременно, в целях реализации Федерального закона [10] Федеральным агентством

по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству России разработан и согласован с заинтересованными органами проект системы нормативных документов [11], который обеспечит переход к новым методическим принципам на основе технических регламентов.

Подобные методические принципы реализуются в процессе научных исследований. Уровень таких исследовательских работ, направленных на решение научных, технических, технологических решений и на повышение качества исходного материала, уровня организационного и производственного процесса, контроля качества продукции на всех этапах начинается с научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и заканчивается работами по внедрению и переходу на серийный выпуск продукции с требуемыми параметрами качества и устройству на их основе долговечных и надежных в эксплуатации зданий и сооружений. Для широкого внедрения результатов научных разработок отсутствует информационная база, позволяющая оценивать, внедрять и обеспечивать положительные результаты и возможные преимущества инновационных методов производства материалов и изделий в условиях заводского производства и возведения на их основе зданий и сооружений различного назначения. Например, вывод существующих мощностей по производству железобетонных изделий и конструкций всего строительного комплекса на принципиально новый технический уровень экономически целесообразен и по времени и по затратам, что и обосновывает перспективность данного направления в развитии строительной отрасли.

Работа строительного комплекса – это многообразный сложный процесс, направленный на удовлетворение потребительского спроса в готовой продукции – здания, сооружения, конструкции. Достаточно длительный промежуток времени, строительная отрасль работала исходя из принципа наиболее быстрой реализации конечной цели процесса – возведения зданий, сооружений, конструкций. Но мало уделялось внимания фактическим условиям, спросу на потребительском рынке, удовлетворению насущных потребностей рынка, вопросам и проблемам, связанным с завершающим этапом – утилизацией продукции строительной отрасли. Современные условия рынка потребительского спроса изменили сам подход к этой проблеме. Все большее внимание уделяется не собственно производству, а вопросам, связанным с обоснованием необходимости данного шага, перспективам нахождения потребительского спроса, эффективности использования, времени основного жизненного цикла и сложности в вопросах утилизации. А постольку современные условия жизни

диктуют и новые требования, необходимо по-новому подходить и к организации строительного производства в целом.

Для более полного представления о данной проблеме предлагается рассмотреть жизненный цикл производства продукции строительного назначения.

Жизненный цикл продукции строительного назначения как совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния продукции от формирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации или применения включает в себя ряд этапов:

1. Маркетинг, поиск и изучение рынка.
2. Проектирование и разработку технических требований, разработку продукции.
3. Материально-техническое снабжение.
4. Подготовку и разработку производственных процессов.
5. Производство.
6. Контроль, проведение испытаний и обследований.
7. Монтаж и эксплуатацию.
8. Техническую помощь и обслуживание.
9. Утилизацию после потери эксплуатационной надежности и пр.

В основе исследования, проектирования и разработки любой продукции лежат перспективные фундаментальные и прогнозные НИР, прикладные маркетинговые исследования и нормирование требований к качеству продукции с учетом региональных особенностей [12-14]. Сюда же следует добавить разработку технического задания и оценку проектно-технического уровня продукции; составление бизнес-плана разработки и производства продукции с требуемыми параметрами качества, привлечение инвестиций; разработку технической документации и проведение экспертных работ, маркетинговое и коммерческое тестирование продукции строительного назначения, изучение, анализ и использование опыта по созданию и эксплуатации аналогичной продукции на всех стадиях ее жизненного цикла, отбор целевых рынков, который проводится параллельно с проектированием и разработкой продукции; разработку комплекса маркетинговых мероприятий.

Этапом жизненного цикла продукции является условно выделяемая его часть, которая характеризуется спецификой производимых на этом участке работ и конечными результатами. Условное представление о жизненном цикле строительной продукции можно получить, исследуя этапы ее жизненного цикла (рис. 1).

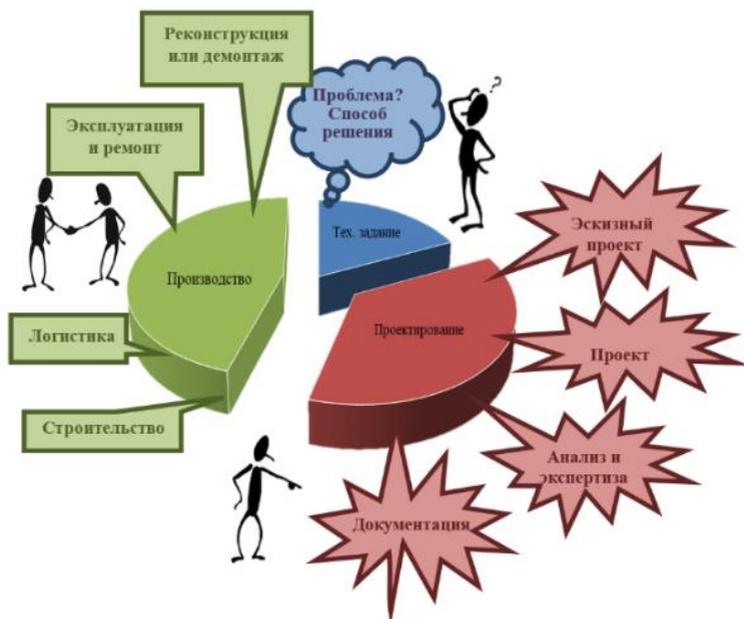


Рис. 1. Этапы жизненного цикла продукции строительного назначения

Предлагается проанализировать некоторые аспекты данной ситуации с точки зрения поэтапного формирования проблем, проектных и технических решений. Прежде всего, при проектировании следует идти в ногу со временем и обеспечивать строительный комплекс продукцией, отвечающей требованиям потребительского спроса современного рынка. Из анализа особенностей современных строек очевидным является то, что на этом рынке удовлетворения потребительского спроса доминируют, на сегодня, здания повышенной этажности, что в общем и присуще густонаселенным мегаполисам. Оценивая современные здания и сооружения, однозначно можно сказать, что при их проектировании учитываются все современные требования, призванные обеспечить техническую безопасность и эксплуатационную надежность вновь возводимых зданий и сооружений. Однако, эта ситуация заставляет совершенно по-новому взглянуть на проблему формирования потребительского спроса, проблему удовлетворения его и экономическую целесообразность данного шага в целом. При этом обеспеченность требований эксплуатационной надежности зданий и сооружений, привела к необходимости повысить требования к качеству и техническим свойствам как материалов и

изделий, так и процессу возведения зданий и сооружений с их использованием.

Эти требования формируют другие подходы по обеспеченности соответствия исходных нормативных требований к качеству материалов, к сохранности параметров качества на всем технологическом цикле, к параметрам технологического процесса, как залога эксплуатационной надежности возведенных и сданных в эксплуатацию зданий, сооружений и конструкций. Организация технологических процессов – это, прежде всего, внедрение автоматизации отдельных операций, а также приборов для пооперационного контроля и неразрушающих методов контроля качества технологических параметров процесса и готовых изделий. Но прежде всего речь должна идти о возможности обеспечить отрасль качественными сырьевыми материалами. Этой проблемой занимается инженеринговая служба, обеспечивающая внутренний и внешний оборот материальных ресурсов.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что внедрение в производство эффективных методов реорганизации бизнес-процесса может перевести технологический процесс из категории оценки качества готового продукта, в разряд организации производства с управляемыми параметрами технологического процесса на всех этапах жизненного цикла.

### **Библиографический список**

1. Дорошенко Ю.А., Глаголев С.Н., Божков Ю.Н. Стратегические аспекты инновационного развития экономики: монография / Ю.А. Дорошенко, С.Н. Глаголев, Ю.Н. Божков [и др.] – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 173.
2. Минасян, А.Г. Теоретические основы подтверждения качества / А. Г. Минасян, Н. В. Водолазская. – Белгород: Белгородский ГАУ им. В. Я. Горина, 2021. – С. 190.
3. Лесовик, Р.В. Структурные возможности повышения качества бетонов для монолитного строительства / Р.В. Лесовик, Е.С. Глаголев, А.В. Савин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 4. – С. 39-42.
4. Водолазская, Н.В. Маркетинговые аспекты инновационного развития организационно-экономических систем / Н. В. Водолазская // Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее: Материалы XXIII Междунар. науч.-произв. конф. – 2019. – С. 181-183.
5. Водолазская Н.В. О необходимости инновационного подхода к решению проблем производственных систем регионального уровня / Н. В. Водолазская // Роль науки в удвоении валового регионального

продукта: Материалы XXV Междунар. научно-произв. конференции. – Белгород: Белгородский ГАУ им. В. Я. Горина, 2021. – С. 214-215.

6. Тертичная Е.Р. Комплекс мероприятий по повышению конкурентоспособности современного субъекта хозяйствования / Е.Р. Тертичная, А.В. Мешков, Н.В. Водолазская // Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие: Материалы научно-практ. конф. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – С. 202–206.

7. Проект от 06.12.2019. Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.garant.ru/files/3/7/1334573/strategiya-razvitiya-stroitelnoy-otrasli-rossiyskoy-federacii-do-2030-goda.pdf> (дата обращения: 21.03.2023).

8. Водолазская, Н.В. Моделирование технических систем для повышения надежности выпускаемой продукции / Н. В. Водолазская // Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы: материалы XXII Междунар. научно-произв. конф. – Белгород: Белгородский ГАУ им. В. Я. Горина, 2018. – С. 196 – 198.

9. Purwanto, M.R. Study the importance of Business Ethics and Ethical Marketing in Digital Era JCR / M.R. Purwanto, T. Mukharrom, D.I. Zhilyakov, [ect.] // Journal of critical reviews.– 2019. – Vol. 6, Is. 5 – P. 150-154. – doi: 10.22159/jcr.06.05.26.

10. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 № 184–ФЗ «О техническом регулировании» (с изменениями на 2 июля 2021 г.) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения: 21.03.2023).

11. Федеральный закон РФ от 30.12.2009 № 384–ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями на 2 июля 2013 года) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 21.03.2023).

12. Romanenko, E.Yu. Engineering in modern construction / E.Yu. Romanenko, N.V. Vodolazskaya // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – № 1083. – P. 012055.

13. Водолазская, Н.В. О разработке моделей технических систем специального назначения / Н. В. Водолазская // Роль науки в удвоении валового регионального продукта: материалы XXV Международной научно-производственной конференции. – Майский, 2021. – С. 85 – 86.

14. Vodolazskaya, N. To a question of providing a sustainable development of regional production systems of various level // European Cooperation. – 2016. –Vol. 8 (15). – P.64 – 70.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ЗДАНИЯХ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

**Гульбинас А. С., ст. преп.**

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

В рамках этапа эксплуатации дошкольных образовательных организаций (далее ДОО) непосредственное управление объектом возложено на руководителей, а именно на заведующих детских садов. Кроме поддержания работоспособного состояния здания на руководителя возлагается ответственная миссия по созданию полноценных условий для развития дошкольников [1-3], а также контролю и обеспечению эффективности внутренней среды обитания. Такая внутренняя «предметно-пространственная развивающая образовательная среда» [4] в детских садах получила название «воспитывающей» и трактуется в рамках средового научного подхода как взаимосвязь личности и среды [5]. Одним из важнейших параметров внутренней среды требующих постоянной диагностики и мониторинга в ДОО является световая среда и ее особенности с точки зрения эффективности светотехнического режима. При неблагоприятных условиях световой среды в помещениях увеличиваются риски раннего ухудшения зрения. Предотвращение отрицательного воздействия искусственного света и снижение зрительного и общего утомления ребенка в помещениях ДОО возможно учесть при соблюдении в помещениях нормируемых параметров световой среды (количественных и качественных характеристик) на протяжении всего периода эксплуатации осветительной установки. В свою очередь согласно Федеральному Закону № 273 «Здоровьесбережение» ст.41 п.2 (в ред. Федерального закона от 03.07.2016 N 286-ФЗ) организация охраны здоровья обучающихся в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, осуществляется самостоятельно этими организациями, то есть непосредственно руководителями. В изменениях N 2 к СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение» с датой введения 29.01.2022 г., утвержденное приказом Минстроя России №1029/пр от 28.12.2021, рекомендованы изменения (табл. 1) для нормируемых параметров световой среды, а именно для общего и местного освещения в помещениях (групповые, игровые комнаты, помещения для занятий детей) в ДОО для детей младше 7 лет.

Таблица 1

**Карта нормируемых параметров световой среды для ДОО**

Параметр	Устаревшее значение	Новое значение
Диапазон цветовой температуры	3500-5500К для помещений при выполнении зрительных работ А-В и освещенности от 300-500лк	3000К – рекомендованное значение для ДОО
Индекс цветопередачи источников света	80-84 – рекомендуемое значение; 80 – обязательное значение для помещений при выполнении зрительных работ А-В и освещенности от 300-500лк	90 – обязательное значение для ДОО
Источник света	ЛЛ 840, 865 - лампы естественного света с высококачественной цветопередачей, в ДОО использование светодиодных источников света не разрешается (п. 7.3.1)	п. 7.3.1 СП второй абзац исключен. Использование светодиодных источников света ограничено интенсивностью ультрафиолетового излучения и длиной волны
Максимально допустимая удельная установленная мощность	От 12 до 20 Вт/м <sup>2</sup> в зависимости от индекса помещения	От 8 до 14 Вт/м <sup>2</sup> в зависимости от индекса помещения
Уровень освещенности, E <sub>ср</sub>	400лк – проектное значение на уровне пола Г-0,0 м	500 лк – проектное значение на уровне пола Г-0,0 м

Между тем вопрос о систематическом мониторинге и анализе данных эффективности световой среды с учетом качественных и количественных показателей осветительных установок в помещениях ДОО является недостаточно разработанным. Проведение технических и организационных мероприятий по «постоянному улучшению» систем освещения пока не соответствует мировым научным тенденциям развития биологически и эмоционально эффективного освещения и «умных» технологий, а также не в полной мере соответствует задачам организации здоровьесбережения и охраны здоровья обучающихся в ДОО.

Таким образом одной из задач диссертационного исследования стал критический анализ взаимодействия элементов, влияющих на светотехнический режим, как внешне воспринимаемое поведение, и целесообразность применения схемотехнического и категориального подходов для разработки универсального механизма взаимодействия элементов светотехнического режима в ДОО.

В рамках исследования был предложен механизм взаимодействия элементов в системе «Светотехнический режим» сначала в виде простой схемы (рис. 1), а затем в виде развернутой (рис. 2), которые позволяют оценить последовательность взаимодействия объектов и элементов и добиться положительно эффекта в виде удовлетворения потребителей, в том числе и сохранение здоровья, и самочувствие обучающихся.



Рис. 1. Простая схема взаимодействия элементов в системе «Светотехнический режим»



Рис. 2. Развернутая схема взаимодействия элементов в системе «Светотехнический режим»

Для возможностей управления процессом взаимодействия предложены возможности персонального и/или автоматического управления техниками освещения и возможности мониторинга характеристик светотехнического режима.

Таким образом предложенный механизм взаимодействия элементов системы «светотехнический режим» отличается учетом обратной связи (возможность персонального и/или автоматического управления техниками освещения и возможность мониторинга характеристик светотехнического режима), которые и становятся теми

элементами саморазвития, позволяющий эффективно функционировать и развиваться в условиях бюджетного финансирования, на примере ДОО. Совершенствование светотехнического режима на основании схемы взаимодействия становится возможным, например, через моделирование конечного результата с введением обратной связи между элементами. Возможность мониторинга характеристик светотехнического режима позволит бюджетным организациям самостоятельно сравнивать и оценивать показатели энергопотребления, планировать и организовывать мероприятия по повышению энергоэффективности, контролировать качество световой среды помещений, а также научиться мотивировать персонал в использовании энергосберегающих методов и новых технологий.

В рамках изменений N 2 к СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение» и затрагиваемых нормируемых количественных и качественных характеристик (см. табл. 1) становится очевидным необходимые изменения в значениях характеристик световой среды, технике освещения помещений и соответственно в необходимости привлечения дополнительных денежных и неденежных ресурсов в помещениях зданий ДОО. Изменения количественных и качественных значений затрагивают все взаимодействующие элементы световой среды (энергетическая и эксплуатационная эффективности) и только обратная связь в виде мониторинга светотехнического режима позволит определить и показать общую эффективность мер проводимых в рамках изменений систем освещения с целью достижения положительного эффекта в удовлетворении потребностей потребителей на этапе эксплуатации или даже при возведении объекта.

### **Библиографический список**

1. Степанова М.И. Гигиенические проблемы архитектурной среды детских садов – Текст: непосредственный // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2016. – № 1. – С. 32-36.
2. Кудрявцева, С.П. Современные направления создания детских образовательных учреждений/ С.П. Кудрявцева, Н.С. Долотказина – Текст: непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2016. – № 3 (36). – С. 13.
3. Тютюрев, А.А. Опыт применения экологических и энергоэффективных решений при проектировании детских дошкольных учреждений/ А.А. Тютюрев, О.Н. Рязанова – Текст: непосредственный // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – №1. – С. 195-198.

4. Федеральный государственный образовательный стандарт дошкольного образования: утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 17 октября 2013 года №1155. – Текст: электронный // Министерство просвещения России : официальный сайт – URL : <https://docs.edu.gov.ru/document/a72db92c851c9f9c33d52d482420b477/> (дата обращения : 14.10.2022).

5. Сахарчук, Е.И. Воспитывающая среда: критерии качества / Е. И. Сахарчук // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2018. – № 10(133). – С. 14-17.

### **К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА**

**Есипов С.М., канд. техн. наук, доц.,  
Глабец П.А., магистрант,  
Тарасов М.В., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г.Шухова, г. Белгород, Россия*

Обследование технического состояния зданий и сооружений проводят, чтобы обеспечить их безопасную эксплуатацию, а при необходимости решить вопрос об их дальнейшей реконструкции, восстановлении, усилении или ремонте. Проводится обследование силами специализированной организации [1].

Обследование зданий (сооружений), как правило, состоит из следующих этапов: подготовка к проведению обследования, предварительное (визуальное) обследование и детальное (инструментальное) обследование. По итогам обследования составляется заключение, а также составляется паспорт здания (сооружения) или вносятся уточнения в тот паспорт, который был составлен ранее [1].

При проектировании реконструкции или капитального ремонта зданий (сооружений) проводят комплексное обследование их технического состояния [1].

Стоимость Жизненного Цикла Здания (СЖЦЗ) – расчетная величина денежного выражения совокупных издержек владения жилым домом, включающих в себя расходы на выполнение строительно-монтажных работ, последующие обслуживание, эксплуатацию в течение срока их службы, ремонт, утилизацию созданного в результате

выполнения работы объекта (элементов здания или здания целиком) [2].

Цель метода расчета СЖЦЗ заключается в оценке общей стоимости вариантов проектных решений проектируемого жилого дома, для обеспечения выбора наименьшей совокупной стоимости затрат владения за весь период его жизненного цикла. В целях расчета стоимости жизненного цикла жилого дома настоящей методикой установлен плановый период эксплуатации до начала первого капитального ремонта здания - 30 лет [2].

Периоды жизненного цикла здания:

I – период проектирования, в том числе: 1.1. период по технико-экономическому обоснованию возведения здания; 1.2. по конструированию и проектированию

II – период конструирования, в том числе: 2.1. по возведению с разработкой технологии, организации и технологических регламентов производства работ; 2.2. по предэксплуатационному освоению;

III – период эксплуатации здания, позволяющей обеспечить окупаемость средств, вложенных в их создание и освоение, в том числе: 3.1. период поддержания конструктивных элементов и инженерных систем здания в нормальном техническом состоянии путем проведения плано-предупредительных и капитальных ремонтов; 3.2. период физического и функционального износа (устаревания), требующий проведения модернизации и реконструкции здания. Если данные мероприятия целесообразны, то этот период предшествует началу нового жизненного цикла здания. Обоснование принимаемого решения о начале нового жизненного цикла здания обязательно должно сопровождаться в данном периоде выполнением работ по технико-экономическому обоснованию и разработке технической документации реконструкции (модернизации);

IV – период окончания жизненного цикла здания, наступающий в случае, если модернизация или реконструкция, восстанавливающие физико-механические и эксплуатационные характеристики зданий до нормального рабочего уровня, нецелесообразны. При этом осуществляется ликвидация (снос) здания. Здесь возможна утилизация и повторное использование материалов, конструкций или оборудования [2].

Капитальный ремонт планируется в случае наступления в процессе эксплуатации объекта физического износа, дефектов или разрушения строительных конструкций и (или) систем и сетей инженерно-технического оборудования зданий, строений, сооружений [3].

Концепция и содержание капитального ремонта существенно

отличаются от концепции и содержания текущего ремонта объекта, проводимого на этапе его эксплуатации. Это обусловлено тем, что в отличие от текущего ремонта при проведении капитального ремонта затрагиваются конструктивные и другие характеристики надежности и безопасности объекта капитального строительства [3].

Под физическим износом конструкции, элемента, системы инженерного оборудования (далее системы) и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека [3].

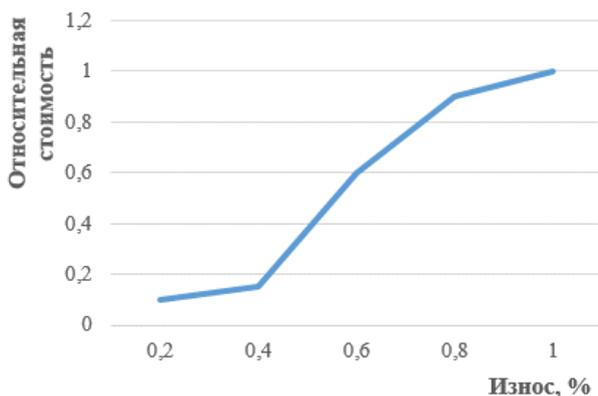


Рис. 1. Зависимость относительной стоимости 1 м<sup>2</sup> от износа

Представленная на рис. 1 зависимость относительной стоимости ремонта 1 м<sup>2</sup> от износа показывает, что в период износа 40-60 % стоимость ремонта стремительно возрастает.

Физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости (табл. 1).

Если конструкция, элемент, система или их участок имеет все признаки износа, соответствующие определенному интервалу его значений, то физический износ следует принимать равным верхней границе интервала [4].

Таблица 1

**Таблица физического износа конструкций  
и элементов жилых зданий**

Признаки износа	Количественная оценка	Физ. износ, %	Примерный состав работ
<b>Фундаменты ленточные крупноблочные</b>			
Трещины, частичное разрушение блоков (до арматуры); выщелачивание раствора из швов между блоками; следы увлажнения цоколя и стен подвала	Ширина трещин более 2 мм, глубина более 10 мм	41-60	Заделка швов и разрушенных блоков, восстановление гидроизоляции; усиление фундаментов местами
<b>Стены кирпичные</b>			
Сквозные трещины в перемычках и под оконными проемами, выпадение кирпичей, незначительное отклонение от вертикали и выпучивание стен	Отклонение стены от вертикали в пределах помещения более 1/200 высоты, прогиб стены до 1/200 длины деформируемого участка	41-50	Крепление стен поясами, рандбалкамн. тяжами и т.п., усиление простенков
<b>Перекрытия из сборного железобетонного настила</b>			
Поперечные трещины в плитах без оголения арматуры, прогиб	Ширина трещин более 2 мм. Погиб до 1\100 пролета	41-50	Усиление плит, заделка трещин
<b>Колонны железобетонные (сборные и монолитные)</b>			
Трещины в растянутой и сжатой зонах, по периметру основания и на уровне консоли; отслоение защитного слоя бетона. Оголение арматуры и нарушение ее сцепления с бетоном; глубокие сколы бетона в основании колонны; искривление колонны	Ширина трещин до 2 мм. Искривление колонны до 1/200 высоты	41-60	Заделка трещин инъекцией раствора в трещины или устройством вдоль трещин канавок с последующей зачеканкой их цементным раствором. Устройство обойм колонн

Доли восстановительной стоимости отдельных конструкций, элементов и систем в общей восстановительной стоимости здания (в %) следует принимать по укрупненным показателям восстановительной стоимости жилых зданий, утвержденным в установленном порядке, а для конструкций, элементов и систем, не имеющих утвержденных показателей, - по их сметной стоимости [4].

Таблица 2

**К определению оптимальной  
по стоимости периодичности ремонтных работ**

Период кап. ремонта, лет	Физ. износ, %	Относительная стоимость за 1 м <sup>2</sup>	Среднее кол-во ремонтов за срок эксплуатации	Итог относительной стоимости за 1 м <sup>2</sup>
20	24	0,1	7,5	0,75
25	30	0,12	6	0,72
30	36	0,14	5	0,7
35	42	0,18	4,29	0,771
40	48	0,23	3,75	0,863
45	54	0,32	3,33	1,067

Зависимость возрастания физического износа здания в табл. 2 была принята 1,2% в год линейно возрастающий на всем сроке эксплуатации, в соответствии с аппроксимированной нелинейной математической зависимостью, которая была разработана авторами статьи в рамках иного исследования.

Модель учитывает частичное восстановление эксплуатационных свойств, несущих и ограждающих конструкций в рамках капитального ремонта.

Таким образом результат с минимальными затратами, за весь срок эксплуатации здания, по табл. 2 является временной период в 30 лет.

**Библиографический список**

- ГОСТ 31937-2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: введен в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 1984.
- Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат: утвержден решением Совета Национального объединения проектировщиков от 04.06.2014 №59.
- ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий: утвержден приказом Госстроя СССР от 24.12.1986 №446.СП 368.1325800.2017. Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.11.2017 №1582/пр.
- Кочерженко В.В., Глаголев Е.С. Экспертиза и мониторинг технического состояния зданий и сооружений: учеб. пособие / В.В. Кочерженко, Е.С. Глаголев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014.
- "Жилищный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 188-ФЗ (ред. от 21.11.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023)
- "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 29.12.2022)

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ МЕТОДИКИ УЧЕТА ИЗНОСА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Есипов С.М., канд. техн. наук, доц.,

Тарасов М.В., магистрант,

Глабец П.А., магистрант

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Жилищный фонд – это совокупность всех жилых помещений, находящихся на территории Российской Федерации [1].

Для человека в современных условиях одной из важных форм среды обитания являются территории массовой жилой застройки. Они предназначены для создания достойных и комфортных условий проживания людей [2].

На сегодняшний день строится все больше новых домов, однако, основной процент жилья в нашей стране был построен в период СССР (табл. 1).

*Таблица 1*

### Распределение жилищного фонда РФ по годам строительства XX в.

Дата постройки	Возраст зданий	Площадь	%
До 1920 года	100 и более лет	159,8 млн. кв.м	4,2%
1921 -1945 гг	От 75 до 100 лет	136,1 млн. кв.м	3,6%
1946-1970 гг	От 75 до 50 лет	965,4 млн. кв.м	25,3%
1971-1995 гг	От 50 до 25 лет	1434,9 млн. кв.м	37,6%
После 1995 года постройки	От 25 лет	1121,4 млн. кв.м	29,3%

Таким образом, в период после Великой Отечественной войны было построено 3521,7 млн. м<sup>2</sup> или 92,2 %.

Показатели степени износа жилищного фонда в России выглядят следующим образом:

1. Минимальный износ (от 0 до 30 %) около 62 % жилищного фонда страны.

2. Износ (от 31 до 65 %), требующий ремонта либо реконструкции около 34 % жилищного фонда страны.

3. Износ (от 66 до 70 %), при котором обязательным является проведение капитального ремонта, либо реконструкции, либо сноса жилых зданий около 2,8 % жилищного фонда страны.

4. Критическую степень износа (свыше 70 %) имеет около 1 % жилищного фонда страны [3].

Степень физического и морального износа зданий и сооружений возрастает с каждым годом. Все больше и больше зданий требуют

проведения капитального ремонта или реконструкции, а также возрастает процент аварийного жилья (табл. 2).

Таблица 2

**Аварийный жилищный фонд**

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Аварийный жилищный фонд, тыс. м <sup>2</sup>	15188	13512	16180	17464	19616	22059
Удельный вес аварийного жилищного фонда	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5

Проблематика ремонта и реконструкции зданий и сооружений актуальна уже несколько десятков лет. Например, в середине 90-х годов был принят законопроект, согласно которому должен был осуществиться ремонт в зданиях, нуждающихся в проведении капитального ремонта более 20 лет. Данный законопроект распространялся на дома, которые были переданы в собственность людям из муниципалитета в 1992-1996 гг. На момент принятия законопроекта такие дома составляли достаточно большой объем жилья (85 % жилищного фонда). По мнению авторов законопроекта, проведения ремонта – это обязанность местных властей, которую не стоит перекидывать на жильцов. Однако не все дома, переданные в собственность людям, являлись собственностью муниципалитетов, и местные власти считали нецелесообразным проведения ремонтов в таких зданиях [4].

Таким образом, текущее состояние жилищного фонда говорит о необходимости модернизации и обновления.

Чтобы организовать переустройство жилой среды, с увязкой модернизации и обновления всех ее компонентов и составляющих целесообразно применять системный подход, который позволит создавать эффективные модели территорий проживания человека [3].

Оценка состояния жилой застройки достигается посредством определения следующих показателей: моральный износ, физический износ и «техническая комфортность». Сегодня становится более востребованной необходимость проведения строительно-технических экспертиз объектов недвижимости. Строительно-технические исследования проводятся в целях обеспечения контрольно-надзорных функций в финансово бюджетной сфере при проведении контрольных мероприятий [5].

В настоящее время рекомендации по системному выбору формы и конкретных участков, обеспечивающих рациональный расход ресурсов на обновление и реконструкцию - недостаточно разработаны. Создание данной методики, а также методики учета износа позволит обеспечить

переустройство наиболее изношенных территорий, а также оптимизировать расход требующихся материально-технических, трудовых и других ресурсов.

### **Библиографический список**

1. «Жилищный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 188-ФЗ (ред. от 21.11.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).
2. Глаголев, Е.С. Эффективное воспроизводство жилищного фонда России / Е.С. Глаголев, Л.А. Сулейманова, М.В. Марушко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 98-104.
3. Мищенко, В.Я. Обоснование формы территорий массовой жилой застройки для их реконструкции и обновления / В.Я. Мищенко, С.И. Матренинский, В. А. Чертов // Недвижимость: экономика, управление. – 2014. – № 1-2. – С. 31-39.
4. Российская газета [Электронный ресурс] / Российская газета - Федеральный выпуск: №235(7103), 2016. URL: <https://rg.ru/> (дата обращения 19.03.2023).
5. Грабовый, К.П. Характерные подходы по осуществлению строительно-технического исследования в отношении объектов строительства, реконструкции, модернизации, технического перевооружения и капитального ремонта в современных условиях / К. П. Грабовый, С. В. Леванов // Недвижимость: экономика, управление. – 2019. – № 2. – С. 84-91.

## **УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ УКРЕПЛЕННОГО ГРУНТА**

**Ладейщиков Н.В., аспирант,  
Чудинов С.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Уральский государственный лесотехнический  
университет, г. Екатеринбург, Россия*

Для того, чтобы заготовленная древесина регулярно доставлялась на перерабатывающее производство, нужны лесные дороги достаточной протяженности и охвате территорий. Лесные дороги располагаются на землях лесного фонда. По ним происходит оптимальное по времени перемещение грузенной древесиной колесной техники, легкового и грузового транспорта для хозяйственных нужд.

Лесные дороги постоянного действия строят сроком эксплуатации от 15 лет и более, временные сроком эксплуатации менее 5 лет. Постоянными лесными дорогами считаются магистральные лесовозными дороги и лесовозные ветки, примыкающие с двух сторон

к лесовозным магистралям. К временным относятся лесовозные усы.

Жизненным циклом лесной дороги принято рассматривать период времени от начала ее строительства и эксплуатации, до реконструкции или ликвидации.

Лесовозные магистрали – это линейные объекты капитального строительства, состоящие из земляного полотна, дорожной одежды, элементов водоотвода и обустройства. Лесовозные магистрали могут строиться из привезенных каменных зернистых материалов, а могут из местного грунта, путем его укрепления портландцементом с различными стабилизирующими добавками [1]. Особенно это относится к тем районам где наблюдается дефицит или полное отсутствие каменных зернистых материалов. Основным предъявляемым требованием к ним, является их способность выдерживать значительные нагрузки от груженого транспорта.

Актуальной задачей при строительстве лесных дорог по технологии укрепления местных грунтов, тем самым продля общий срок эксплуатации грунтовой дороги (продление жизненного цикла) является определение типа и физических свойств грунтов, путем отбора проб, с места строительства и дальнейших лабораторных испытаний.

Известно, что полученные при строительстве дорог физико-механические свойства конструктивных слоев, например, из укрепленных грунтов, могут соответствовать до 60 % от свойств материалов, полученных и исследованных в лабораторных условиях. При этом вся действующая нормативная база с требуемыми физическими показателями применяется к конечному продукту. Поэтому роль лабораторных испытаний возрастает от года к году. Доведение лабораторных показателей физических свойств укрепленных грунтов до значений, превышающих требуемые по ГОСТ, гарантирует нормированный показатель на месте производства работ и соответственно нормативный жизненный цикл дороги в целом.

Технологические операции и лабораторный контроль при укреплении грунтов взаимосвязаны друг с другом определенной последовательностью, которую нельзя переставить местами или заменить на другую. Данные операции нужно точно выполнять как в лаборатории, так и на месте производства работ.

Первыми испытаниями, которые проводятся с привезенными в лабораторию грунтами – определение типа грунта.

Под грунтом понимаются различные горные породы, разнообразные почвы, техногенные образования в результате деятельности человека.

Базовыми испытаниями для песчаных грунтов, является

определение гранулометрического (зернового) состава ситовым методом по ГОСТ 12536-2014, без промывки водой (для песчаных грунтов размером фракций от 10 до 0,5 мм), а также с промывкой водой (для песчаных грунтов размером фракций от 10 до 0,1 мм) [2].

Базовым испытанием для глинистых грунтов, является определение гранулометрического (зернового) состава ареометрическим методом. Ареометром измеряют плотность суспензии в процессе отстаивания.

Далее у проб необходимо определить число пластичности  $l_p$ , через влажность на границе текучести  $W_L$  и влажность на границе раскатывания  $W_p$  (ГОСТ 5180-2015) [3], по формуле:

$$L_p = W_L - W_p \quad (1)$$

где  $l_p$  – число пластичности, ед;  $W_L$  – влажность на границе текучести, ед.;  $W_p$  – влажность на границе раскатывания, ед;

Границу текучести исследуемого грунта определяют путем его поэтапного увлажнения до пастообразного состояния и скоростью погружения в него балансирующего конуса (балансирующий конус Васильева с цилиндрической чашкой) на глубину 10 мм в течении 5 с.

Перед испытанием, подготовленную из грунта пробу, природной влажности, выдерживают в специальном сосуде от 2-х до 6-и часов (для суглинков и глин).

Если конус за 5 с погрузился в грунт в чашке на глубину 10 мм, значит грунт имеет влажность, соответствующую границе текучести.

Если конус погрузился на меньшую глубину, пробу извлекают из чашки, присоединяют к общей пасте в чашке и добавляют немного дистиллированной воды. Затем все тщательно перемешивают и повторяют опыт.

Если конус просел в пробу за 5 с более 10 мм, пасту извлекают, смешивают в чашке с основным замесом и подсушивают на воздухе, непрерывно помешивая.

При достижении границы текучести из материала отбирают пробу массой до 30 г и определяют его влажность весовым способом [3].

Границу раскатывания исследуемого грунта определяют из тоже пробы (приготовленной пасты), из которой определяли его границу текучести, путем раскатывания материала, руками, в жгут  $\varnothing 3$  мм.

Граница пластичности наступает тогда, когда при очередном добавлении порции дистиллированной воды в пробу с грунтом, раскатанный жгут при  $\varnothing 3$  мм начинает распадаться на отрезки длиной до 10 мм.

После этого отбирают пробу массой до 30 грамм и определяют его влажность весовым способом [3] (рис. 1).

Определить тип грунта, по гранулометрическому (зерновому) составу грунта и числу пластичности можно по таблице Б.14 [5].



Рис. 1. Раскатывание пробы в жгут  $\varnothing 3$  мм и его распад

Определив гранулометрический состав привезенного грунта, суммой процентного содержания фракций от 2 мм и ниже, % и числа его пластичности  $lp$ , по формуле (1), при строительстве лесовозной дороги можно сделать заключение, о пригодности местных грунтов к укреплению портландцементом и соответствующей рецептуре цементогрунтовой смеси.

В связи неоднородностью местных грунтов по их физико-механическим свойствам, при лабораторных испытаниях по подбору рецептуры цементогрунтовых смесей, физико-механические показатели образцов необходимо увеличивать до 40 % от требуемых значений, что гарантировано обеспечит заданные физико-механические свойства материала на месте производства работ.

### Библиографический список

1. Чудинов С. А. Укрепление грунтов портландцементом с добавлением комплексной добавки, продлевающей строительный период / С.А. Чудинов, Н.В. Ладейщиков // Инновационный транспорт. – 2022. – № 4(46). – С. 48-51.
2. ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».
3. ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».
4. ГОСТ 22733-2016 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности».
5. ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».

## **ВНЕДРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ – ИННОВАЦИЯ В ПРОДЛЕНИИ СРОКОВ СЛУЖБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Максимов В.А., магистрант,  
Борисюк Н.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет, г. Москва, Россия*

Автомобильные дороги являются важнейшим и основополагающим объектом транспортной инфраструктуры, которые объединяют в себе множество конструктивных элементов и искусственных сооружений, необходимые для обеспечения безопасного движения автомобилей в течении всего срока службы. Для населения, роль автомобильных дорог состоит в обеспечении требуемой жизнедеятельности благодаря большому количеству перевозок, как пассажиров, так и различных грузов.

С учетом того, что в настоящее время Российская Федерация входит в межгосударственное объединение Бразилии, России, Индии, Китая и Южно-Африканской Республики (БРИКС), а также является членом всемирной торговой организации (ВТО), необходимость рассмотрения таких вопросов, как продление межремонтных сроков службы автомобильных дорог, снижение затрат на их ремонт и содержание, выходят на сегодняшний день на передний план. В том числе ввиду того, что от этого зависит высокоэффективное взаимодействие стран, а также социально – экономическое развитие страны, в целом.

Исполнение надлежащего контроля качества работ в операциях по строительству и содержанию автомобильных дорог является одной из ключевых задач при решении проблем их реализации в целом.

Важно заметить, что параметры автомобильных дорог, которые не соответствуют техническим требованиям (цепные качества, геометрические параметры и т.д.) оказывают значительное влияние на безопасность дорожного движения, что впоследствии влечет за собой увеличение вероятности дорожно-транспортных происшествий (ДТП). С учетом вышеизложенного, повышение и развитие надежности дорожной сети является приоритетной национальной задачей Российской Федерации.

На сегодняшний день, наиболее распространенным материалов для строительства автомобильных дорог в нашей стране является асфальтобетон. Данный материал дает возможность формировать покрытия с требуемой ровностью, сцеплением и т.д. Однако, он

обладает не особо продолжительным сроком службы.

Для увеличения сроков службы дорожных покрытий и повышения их технико-эксплуатационных качеств (прочность, шероховатость, ровность, работоспособность, износостойкость), в Российской Федерации обратились к технологиям строительства цементобетонных автомобильных дорог. Дороги из цементобетона способны служить без осуществления различных ремонтных мероприятий более 40 лет.

С точки зрения экологии, применение цементобетона в конструкциях дорожных одежд имеет более экологичный эффект, по сравнению с асфальтобетоном. Причина состоит в том, что по своей структуре, асфальт содержит в себе продукты переработки нефти (битум), который в непосредственном контакте с водой способен проникать в почву, что принципиально приводит к загрязнению земель различными нефтепродуктами.

В Российской Федерации, в настоящее время, нормативно-техническая база по строительству цементобетонных дорог не учитывает того факта, что современные условия движения кардинально отличаются от тех, под которые была создана вышеупомянутая база много лет назад.

Отметим, что на территории Российской Федерации создана «Ассоциация бетонных дорог», основными направлениями деятельности которой являются: актуализация и разработка новых современных отраслевых нормативно-технических и методических документов, внедрение современных отечественных и мировых технологий, оборудования и материалов с целью качественного повышения строительства цементобетонных дорог.

Отвечая на вопрос: «Почему не строим дороги из бетона?», технический директор «Института Стройпроект» Суворцев А.Б. выразил профессиональное мнение, что одной из ключевых причин данной проблемы дорожно-строительной отрасли, является неготовность к работе с бетоном. Понятно, что необходимо делать с дефектами асфальтобетонного покрытия, но не совсем понятно, что делать с дефектами цементобетонного покрытия. К этому добавляется еще и недостаток данных о влиянии шипов на бетонное покрытие.

«Также, для расширения строительства цементобетонных дорог требуется политическая воля» отметил президент Ассоциации бетонных дорог, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ Ушаков В.В. [3].

По-нашему мнение – все вышеизложенные доводы, в совместной компоновке, стали причиной существенного отставания от зарубежного

опыта, в плане современного качественного строительства цементобетонных дорог, что повлекло за собой и отставание в долговечности дорог, по сравнению с Европейскими странами.

Плавно переходя к примеру зарубежного опыта строительства цементобетонных дорог, важно отметить, что в отличие от Российской Федерации, в Европейском союзе, США (Соединенных Штатах Америки), Китае, процентное отношение автодорог, сделанных из цементобетона, составляют более 60 % от их общего объема (в Российской Федерации – в районе 2-3 %).

На сегодняшний день, во многих зарубежных странах строительство цементобетонных дорог реализуется по технологии «Двухслойной укладки».

Использование данной технологии дает возможность создания единого покрытия, состоящего из верхнего высокомарочного слоя (толщиной 18-26 см) и основного конструктивного слоя бетона (толщиной 4-8 см).

Укладка цементобетонной смеси проводится с использованием двух бетоноукладчиков. Важно заметить, что верхний слой бетона укладывается незамедлительно на только что уложенный нижний слой.

Для строительства таких цементобетонных дорог используются современные бетоноукладчики ведущих мировых производителей, такие как Gomaco, Wirtgen, Somero, позволяющие выполнять операции по укладке покрытия одновременно с армированием швов, соблюдая при этом идеально ровную поверхность и, обеспечивая своевременное качественное уплотнение смеси (рис.1).



Рис. 1. Двухслойная укладка цементобетонных покрытий бетоноукладчиками компании Wirtgen (Германия)

Последовательность технологического процесса следующая:

- производится укладка нижнего слоя бетона;
- на нижний слой устанавливаются дюбеля;

- нижний слой армируется;
- укладывается верхний слой бетона.

Обращаясь к сведениям той же «Ассоциации бетонных дорог» Российской Федерации, в Европейских странах цементобетонные покрытия имеют порядка 13–40 % дорог, в Китае – около 50 %, в США–60 %. Отходя от процентного соотношения, приведем абсолютные цифры, в Российской Федерации протяженность дорог с цементобетонным покрытием составляет 1300 тыс. км, в то время как в США (Соединенных Штатов Америки) – 120000 тыс. км [1].

С учетом постановления В.В. Путина (Президента Российской Федерации) №658 от 30 мая 2017 года об увеличении межремонтных сроков службы до 12 лет и временных промежутков между капитальными ремонтами дорог до 24 лет, без строительства цементобетонных покрытий, решение этой задачи становится довольно проблематичным.

Таким образом, идея строительства цементобетонных покрытий в Российской Федерации – отличное решение, позволяющее продлить сроки службы автомобильных дорог до 40 и более лет. Укладывая цементобетонное покрытие, мы также стремимся к устойчивому снижению расходов на мероприятия по содержанию и ремонту автомобильных дорог.

### **Библиографический список**

1. СП 34.13330.2021 «Свод правил. Автомобильные дороги». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573818172>.

2. СТО НОСТРОЙ 2.25.220-2018 «Автомобильные дороги. Устройство и капитальный ремонт монолитных цементобетонных покрытий. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ». – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293735/4293735730.htm>.

3. Ушаков, В. В. Для строительства цементобетонных дорог в РФ требуется политическая воля [Электронный ресурс] // Интерфакс Россия – Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/exclusives/prezident-associacii-betonnyh-dorog-viktor-ushakov-dlya-stroitelstva-cementobetonnyh-dorog-v-rf-trebuetsya-politicheskaya-volya>.

4. Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 г. N 658 "О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения". – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/436738392>.

5. Максимов, В.А. Обоснование технологии содержания цементобетонных покрытий автомобильных дорог для повышения срока их службы / В.А. Максимов, В.В. Ушаков // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. – № 2(32). Режим доступа: <https://www.adimadi.ru/madi/article/view/1122>.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В ТЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ПЕРИОДА ВРЕМЕНИ**

**Наумкина Ю.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

Прогнозирование значений физического износа многоквартирных домов (далее – МКД) – сложная и неоднозначная инженерная задача, при этом имеющая большое и решающее значение при планировании большинства эксплуатационных мероприятий по ремонту и содержанию МКД (планирование ремонтно-восстановительных работ, реконструкции, принятие решений по сносу ветхого и аварийного жилья и т.д.). Нормативной базой для определения физического износа МКД служат следующие нормативно-технические документы: ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий; Методические рекомендации «Правила оценки физического износа многоквартирных домов» (2018 г.) (разработаны в уточнение ВСН 53-86(р)).

При этом экспертный метод оценки, лежащий в основе методик расчета физического износа, представленных в данных нормативных документах, в большой степени зависит от квалификации лиц, проводящих техническое обследование МКД и последующий подсчет значений физического износа. Так, результаты оценки технического состояния МКД, проведенных разными организациями, зачастую сильно разнятся и появляется вопрос о сопоставлении результатов расчетов с практическими данными по износу жилого фонда, отвечающими реальной картине работы большинства однотипных объектов в одинаковых условиях.

Целью работы является выявление наиболее вероятного прироста физического износа жилых зданий в зависимости от продолжительности их эксплуатации и возможность использования выявленных зависимостей для практического использованию с целью сопоставления с результатами расчета.

Конструктивные элементы и инженерно-технические системы МКД в течение срока его использования изнашиваются неравномерно

[1, 2]. Известно, что с увеличением срока эксплуатации развитие процессов износа ускоряется (рис. 1). При этом скорость, с которой изнашиваются элементы и конструкции МКД, зависит не только от внешних факторов, но и от качества проводимых эксплуатационных мероприятий по ремонту и содержанию МКД.

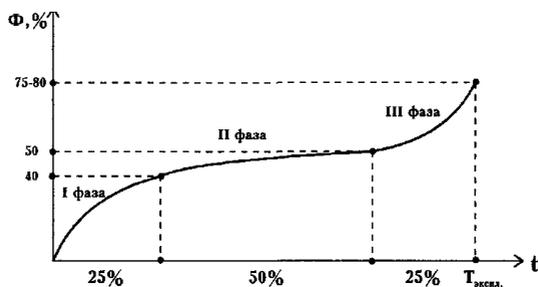


Рис. 1. Обобщенный график изменения физического износа объекта в процессе эксплуатации

Согласно Правил оценки физического износа многоквартирных домов, физический износ МКД оценивается в зависимости от признаков износа по результатам технического обследования, которые отражают степень снижения показателей эксплуатационных качеств (экспертный метод оценки). Физический износ МКД в целом определяется сложением степеней износа его отдельных элементов, взвешенных по удельному весу их стоимости в общей восстановительной стоимости здания.

Данная методика позволяет наиболее точно и достоверно определить процент износа МКД с точностью до 5 %. При этом необходимо подчеркнуть, что определение физического износа МКД по экспертному методу оценки предполагает проведение общего или детального технического обследования с обязательным визуальным осмотром.

Определение величины физического износа пропорционально нормативному сроку службы и возрасту зданий, как правило, не допускается. Однако подобные методики определения физического износа зданий существуют [3].

Метод хронологического возраста зданий - физический износ гражданских зданий определяется как частное, полученное при делении хронологического возраста объекта на срок его эксплуатации. Например, для жилых зданий, имеющих 2 группу капитальности и нормативный срок службы 125 лет, после 50 лет эксплуатации физический износ составит 40 %, после 60 лет-48 %. Таким образом,

среднегодовой прирост физического износа составит 0,8 %.

Данный метод не учитывает, что эксплуатационный ресурс здания мог увеличиться за счет проводимых работ по капитальному ремонту и реконструкции. При этом не принимаются во внимание и условия эксплуатации – ведь чем интенсивнее режим эксплуатации, тем быстрее происходит прирост износа. Кроме того, для зданий со значительным сроком службы можно получить значение физического износа более 100 %, а это логически невозможно.

Таким образом, приведенный выше метод расчета не вполне корректен и имеет значительные погрешности, однако может использоваться в предварительных расчетах физического износа МКД в условиях нормальной эксплуатации до первого капитального ремонта или реконструкции.

Временной метод (метод Росса) является разновидностью метода хронологического возраста и учитывает условия эксплуатации объекта. При нормальной эксплуатации физический износ предлагается определять в зависимости от возраста здания с момента ввода его в эксплуатацию или проведения последнего капремонта (реконструкции)  $t$  и расчетного (нормативного) срока службы здания  $T$  по формуле:

$$\text{Физ.Изн.}(\%) = 100\% \times (t^2 : T^2) . \quad (1)$$

В соответствии с (1), физический износ МКД 2 группы капитальности после 50 лет эксплуатации составит 16 %, после 51 года – 16,6 %, после 52 лет – 17,3 %, после 53 лет – 18 %. Таким образом, среднегодовой прирост физического износа составит 0,6-0,7 %.

В литературе указываются и другие временные методы оценки физического износа в зависимости от срока эксплуатации, нормативного срока службы, остаточного срока службы зданий (метод Балашова, метод Анисимова и Николайцева, метод НИИЭС Госстроя 1959 г. и т.д.). Следует отметить, что точность их невелика, однако для целей прогнозирования и планирования они вполне применимы. Для оценки фактического технического состояния МКД эти методы неприемлемы.

Более точная расчетная методика определения физического износа зданий была предложена в работах Белых А.В., Фоломеевой П.С. [4,5]. В результате проведенных исследований было получено аппроксимирующее уравнение, описывающее процесс накопления физического износа зданиями в кирпичном исполнении со сроком эксплуатации не более 90 лет:

$$\text{Физ.Изн.(\%)} = \left( 0,4 - \frac{0,357^{x^{0,044}}}{e^{0,0305x}} \right) \times 100\%, \quad (2)$$

где  $x$  – хронологический возраст здания

Данная математическая модель справедлива при постоянном накоплении дефектов и повреждений конструкций зданий во времени и имеет небольшие погрешности при прогнозировании износа.

Графический вид накопления физического износа по модели (2) представлен на рис. 2.

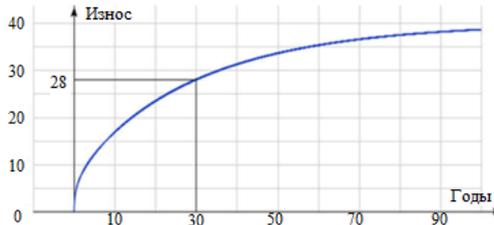


Рис. 2. График «Возраст - износ» на основе математической модели (2)

Анализ данного графика позволяет сделать вывод о том, что после 30 лет эксплуатации физический износ составит 28 %, после 50 лет – 33,6 %, после 70 лет – 36,6 %. Таким образом, среднегодовой прирост физического износа составит 0,15-0,28 %.

Так как приведенная выше модель дает сравнительно небольшой прирост физического износа и не учитывает действительные условия эксплуатации объекта, Фоломеевой П.С. была предложена корректировка формулы (2) путем введения коэффициента эксплуатации КЭ, равного отношению физического износа, полученного по математической модели (2) и по результатам технического обследования [5].

В Приказе Минэкономразвития России от 07.06.2016 N 358 (ред. от 09.08.2018) «Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке» указывается, что при наличии достаточного количества данных о физическом износе объектов рекомендуется построить модель накопления износа по однотипным объектам в подобных условиях эксплуатации.

В исследовании Корсакова Р.О. исследовался вопрос определения зависимости степени физического износа здания от фактического срока эксплуатации объекта и его конструктивного исполнения, а также решения обратной задачи - определения величины физического износа по конструктивному решению здания и его сроку эксплуатации [6].

Исходными данными для автора послужили сведения технических паспортов объектов капитального строительства, содержащиеся в базе данных МБТИ (около 24 % из почти 8 млн. объектов кадастрового учета Московской области, участвующих в кадастровой оценке 2015 г.). Все объекты были разделены на 14 классов в зависимости от типа конструктивного решения, был рассчитан возраст объектов на дату инвентаризации, соответствующую моменту определения их физического износа, отраженного в базе данных. Построение графиков «возраст - износ» по всем подвыборкам объектов одних классов конструктивной системы показали четко выраженную, линейную зависимость величины физического износа от возраста ОКС (рис. 3).



Рис. 3. График «Возраст - износ» ОКС

На графике зависимости видно, что при сроке эксплуатации объектов примерно в 95 лет наблюдается устойчивое снижение их физического износа. Это можно объяснить неучтенными датами проведения капитальных ремонтов, за счет которых снижается физический износ, а также техническими ошибками программного расчета.

Анализ данного графика позволяет сделать вывод о том, что средний прирост физического износа ОКС составляет примерно 1 % в год.

На основе полученных зависимостей автором был разработан онлайн-калькулятор для получения быстрой оценки физического износа ОКС в зависимости от возраста объекта и класса конструктивной системы. Для объекта с кирпичными стенами и железобетонными перекрытиями физический износ после 50 лет эксплуатации физический износ составит 42 %, после 60 лет—45 %. Таким образом, среднегодовой прирост физического износа составит 0,5 %.

Предположение о линейном росте физического износа было реализовано и в методике, утвержденной Распоряжением Мэра Москвы от 15.07.1996 № 81/1-РМ «О Порядке установления коэффициента

пересчета остаточной стоимости одного квадратного метра общей и жилой площади к их стоимости в сопоставимых ценах 1990 г.». При этом коэффициент нарастания физического износа также зависел как от года постройки, так и от группы капитальности (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели среднегодового прироста  
физического износа жилых строений в г. Москве**

Группа капитальности строений	Среднегодовой прирост физического износа (%) в зданиях, построенных		
	до 1917 г.	до 1941 г.	после 1941 г.
1	0,2	0,4	0,7
2	0,3	0,5	0,8
3	0,4	0,6	1
4	0,6	0,9	1,5
5	-	1,5	2

Так, для зданий 2 группы капитальности, построенных после 1941 г. среднегодовой прирост физического износа составил 0,8 %.

Авторами И.Л. Киевским, В.В. Леоновым предлагается методика, также основанная на обработке статистических данных по объектам МГБТИ [7]. Учитывался год строительства дома, а также год последнего определения износа здания. Результаты проведенного анализа по жилым домам с 1951 по 2000 г. постройки представлены на рис. 4. При этом кривые нарастания среднего процента износа по каждой из групп зданий сопоставимы с результатами расчета, основанного на предположении о линейном росте физического износа с течением времени с принятым коэффициентом прироста физического износа 1%/год.

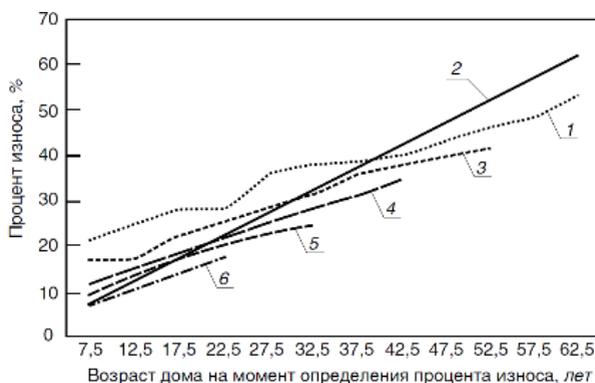


Рис. 4. Изменение средних значений процента износа по группам зданий: 1 – 1951-1960 гг.; 2 – расчет с  $K=1\%/год$ ; 3 – 1961-1970 гг.; 4 – 1971-1980 гг.; 5 – 1981-1990 гг.; 6 – 1991-2000 гг.

Оценка износа МКД проводится организациями по технической инвентаризации и заносится в техническую документацию. Процент износа на начало каждого года считается с учетом года постройки дома, его этажности и степени капитальности. По данным сайта ГИС ЖКХ «Государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства» ([URL: dom.gosuslugi.ru](http://dom.gosuslugi.ru)) процент прироста составляет от 0,2% до 1% в год.

Анализ информации о проценте износа МКД на данном сайте также демонстрирует картину о постепенном росте физического износа без резких скачков (рис. 5).



Рис. 5. Средний процент износа МКД по году ввода в эксплуатацию (по данным сайта ГИС ЖКХ)

Согласно данной гистограммы для МКД 1950-2018 гг. постройки среднегодовой прирост физического износа составляет примерно 0,7 % в год.

Таким образом, проанализировав вышеизложенную информацию можно утверждать, что при условии отсутствия стихийный бедствий и чрезвычайных ситуаций, в условиях нормальной эксплуатации, среднегодовой прирост физического износа МКД по всем известным методикам составляет в среднем не более 1%. С учетом погрешности и с поправкой на неблагоприятные условия эксплуатации, нарушения режимов и стандартов эксплуатации, этот показатель может быть несколько увеличен, но существенное увеличение физического износа МКД за небольшой период времени не может произойти без видимых серьезных на то причин и оснований.

Выявленные зависимости прироста физического износа МКД по приведенным в статье методикам можно применять с целью сопоставления с результатами расчета по нормативно-техническим документам, а также для предварительного прогноза и планирования эксплуатационных мероприятий по ремонту и содержанию МКД.

### **Библиографический список**

1. Васильев, А.А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений / А.А. Васильев; Министерство транспорта и коммуникаций, Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2021. – 189 с.

2. Faqih, F. Factors and defects analysis of physical and environmental condition of buildings / F. Faqih, T. Zayed, E. Soliman // Journal of Building Pathology and Rehabilitation. – 2020. – Vol. 5. – No 1. – DOI 10.1007/s41024-020-00084-0

3. Хайруллин В.А., Салов А.С., Яковлева Л.А., Валишина В.В. Учет величины физического износа объекта технической эксплуатации при оценке действительной остаточной стоимости здания / В.А. Хайруллин, А.С. Салов, Л.А. Яковлева, В.В. Валишина // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 5(30). – С. 166. – DOI 10.15862/219TVN515

4. Белых, А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки / А.В. Белых // Журнал правовых и экономических исследований. – 2013. – № 2. – С. 78-86.

5. Фоломеева, П.С. Прогнозирование физического износа зданий / П. С. Фоломеева // Вестник научных конференций. – 2015. – № 4-5(4). – С. 83-86.

6. Корсаков Р.О. Величина физического износа объектов капитального строительства // Оценщик.РУ URL: [www.ocenchik.ru/docs/3611-fizicheskiy-iznos-kapstroitelstva-korsakov.html](http://www.ocenchik.ru/docs/3611-fizicheskiy-iznos-kapstroitelstva-korsakov.html) (дата обращения: 07.02.2023).

7. Киевский, И.Л. Прогнозирование физического износа зданий / И.Л. Киевский, В.В. Леонов // Жилищное строительство. – 2017. – № 7. – С. 17-20.

## ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Никулина Ю.А., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Жизненный цикл объекта капитального строительства занимает длительный временной период и включает в себя несколько этапов (рис. 1). На их эффективность оказывает влияние большое количество факторов, которые укрупненно можно объединить в следующие группы: технические, экономические, юридические на микро-, мезо- и макроуровне.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла объекта строительства

Анализ влияния факторов является важнейшим аспектом оптимизации управленческих решений на всех этапах жизненного цикла объекта недвижимости. Особенно важно учитывать максимально возможную их совокупность для выявления влияния на самый долговременный и затратный этап – эксплуатацию. Для зданий и сооружений массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного назначения) срок эксплуатации согласно ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» составляет не менее 50 лет. Масштабы эксплуатируемых объемов объектов недвижимости велики, например, жилой фонд в РФ составляет по

данным на 2021 г. около 4 млрд м<sup>2</sup> [4] и темпы строительства в России имеют положительную динамику. Данные об объемах зданий жилого и нежилого назначения, введенных в эксплуатацию в России за период с 2018 по 2021 г. [3] представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Объемы введенных в эксплуатацию зданий жилого и нежилого назначения в России в период 2019-2021 гг.**

Годы	Здания жилого назначения			Здания нежилого назначения		
	Количество, тыс.	Строительный объем, млн м <sup>3</sup>	Общая площадь, млн м <sup>2</sup>	Количество, тыс.	Строительный объем, млн м <sup>3</sup>	Общая площадь, млн м <sup>2</sup>
2018	242,4	375,3	101,8	18,7	209,3	30,9
2019	285,8	418,8	111,7	19,7	234,2	35,1
2020	308,0	408,2	110,0	18,7	222,0	33,4
2021	383,4	421,6	114,4	19,7	242,9	34,0

Период эксплуатации также включает в себя различные процессы, связанные с реновацией объектов недвижимости, требующих большого количества различных ресурсов. Поэтому необходимо использовать современные технологии и совершенствовать управленческую и техническую деятельность на этапах, предшествующих эксплуатации, чтобы здание или сооружение использовалось максимально эффективно при минимальных затратах на его содержание. Системно и комплексно позволяет реализовать этот подход информационное моделирование в строительстве [5].

Таким образом, безусловно, важнейшим фактором эффективного управления объектами капитального строительства является системная исследовательская и аналитическая деятельность в отношении совокупности данных и достоверной информации на всех этапах его жизненного цикла.

В этой связи, Федеральным законом от 27.06.2019 г. № 151-ФЗ были закреплены официально в Градостроительном кодексе понятия «информационная модель» и «классификатор строительной информации» [2].

В постановлении Правительства Российской Федерации [1] закрепляются элементы, входящие в понимание информационной модели и в процесс ее формирования. Схематично формирование информационной модели объекта капитального строительства представлено на рис. 2.

Информационная модель объекта капитального строительства, независимо от его сложности и масштабности, охватывает в своем развитии стадии от состояния, когда объекта недвижимости еще не существует, но зарождается идея о его создании, до состояния, когда объекта уже нет.

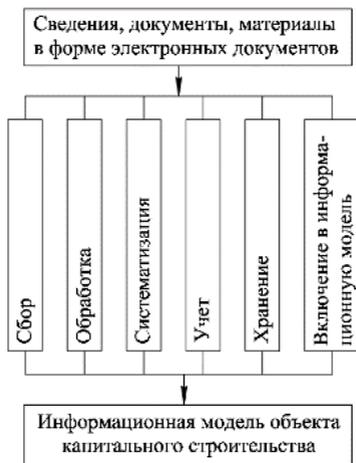


Рис. 2. Формирование информационной модели объекта капитального строительства

В заключение следует отметить, что в настоящее время существуют различные механизмы управления и регулирования рынка недвижимости в целом и каждого его объекта в частности, но динамично изменяющиеся условия диктуют необходимость постоянного анализа и усиления деятельности всех участников, направленных на достижение конечного результата создания продукта с лучшими потребительскими свойствами и более низкой ценой на всех этапах его жизненного цикла. И это один из важнейших факторов успешности создания и существования объектов капитального строительства.

### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации № 1431 от 15 сентября 2020 г. «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт б Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».

2. Официальный сайт Министерства строительства и жилищно-

коммунального хозяйства Российской Федерации [электронный ресурс]. Режим доступа: [www.minstroyrf.gov.ru](http://www.minstroyrf.gov.ru) (дата обращения: 20.03.2023).

3. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [электронный ресурс]. Режим доступа: [www.rosstat.gov.ru](http://www.rosstat.gov.ru) (дата обращения: 23.03.2023).

4. Жилищное хозяйство в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 83 с.

5. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. №5. С. 171-181.

## **СИСТЕМЫ ОБЛАЧНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Рябчевский И.С., аспирант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Основной предпосылкой применения BIM является сотрудничество различных заинтересованных сторон на разных этапах жизненного цикла объекта строительства для вставки, извлечения, обновления или изменения информации в процессе эксплуатации здания для поддержки и отражения ролей этих заинтересованных сторон [1, 2]. Однако удобство и применение BIM ограничены из-за огромного объема информации, высокой плотности интеграции, стоимости применяемого оборудования, большого количества участников, сложного взаимодействия информации и длительного жизненного цикла [3, 4]. Чтобы инструктировать, продвигать и отслеживать внедрение технологии BIM в строительной отрасли, решать технические и практические проблемы, а также расширять использование BIM во всей отрасли, рассмотрена возможность использования облачного хранилища в управлении жизненным циклом BIM [5].

С точки зрения всего жизненного цикла информация о строительстве включает в себя исчерпывающую информацию, такую как технико-экономическое обоснование, принятие решений, проектирование, планирование, поставка, реализация, контроль, управление эксплуатацией и т.д. С точки зрения управления проектом информация о строительстве включает в себя информацию об

управлении затратами, расписанием, качеством, контрактами и т.д. С точки зрения единого проекта информация о строительстве содержит цели, подсистемы, ресурсы, информацию, информацию о деятельности и организации. ВМ – эффективное решение для интеграции информации. Однако не существует эффективного способа хранения большого объема информации в централизованной классификации. Это создает новые проблемы, такие как эффективное чтение и передача информации [6].

Размер файлов данных ВМ может легко достигать десятков или сотен гигабайт. Программное обеспечение ВМ и компьютерное оборудование, отвечающие предъявляемым к ним требованиям, имеют решающее значение. Обычно используются мобильные рабочие станции или настольные компьютеры высокого класса с высокой стоимостью. Каждый пользователь ВМ должен быть оснащен высокопроизводительным компьютером, поскольку это не сеть для совместной работы. Когда пользователям необходимо обращаться к нескольким файлам ВМ, это сложно и неудобно [7].

Для решения проблем, рассмотренных выше, возможно создание ВМ с использованием техники облачного хранения. Облачное хранилище – это расширение облачных вычислений, которое собирает, хранит и обрабатывает данные на основе сервисов. Облачное хранилище является основой для систем облачных вычислений, таких как облачная платформа и облачные сервисы. Естественная природа облачного хранилища, делает его отличным решением трудностей управления ВМ.

Облачное хранилище предоставляет огромный ресурс. Использование ресурсов имеет различный рабочий цикл. Динамический контроль убираемости может значительно повысить эффективность использования ресурсов. При высокой нагрузке ресурсы динамически расширяются, а при низкой нагрузке освобождаются лишние ресурсы. Задача решается с помощью технологии расширения масштаба [6]. Это особенно подходит для исследовательских и конструкторских подразделений. Результаты и ресурсы этих подразделений, особенно информация ВМ, масштабируемы, что требует органического расширения, а не простого сбора.

Облачное хранилище делает возможной межрегиональную работу между компаниями. Развернув локальные приложения и файлы ВМ в облачной системе хранения, участники могут получать доступ, изменять и управлять информацией с терминала без ограничений по времени и пространству [8]. Клиенты предоставляют обратную связь об операционной информации пользователя облачной платформе, а облако предоставляет обратную связь пользователю в виде изображений рабочего интерфейса, поэтому пользователям не нужно загружать

модель, чтобы пересматривать и загружать ее.

Система облачного хранения гарантирует совместную работу участников в режиме реального времени. Как на этапе проектирования, так и на этапе строительства BIM может экспоненциально повысить эффективность обмена информацией. Облачное хранилище BIM предназначено для обеспечения возможности «мгновенного сотрудничества».

Таким образом, расширяемость облачного хранилища может решить проблему хранения перегруженной информации BIM. Предприятия могут быстро расширять систему, не покупая дорогие серверы, а удобство для клиента и совместная работа могут способствовать межрегиональному и межкорпоративному сотрудничеству между различными участниками. Надежность может обеспечить безопасность обмена информацией BIM. Низкая стоимость может снизить стоимость строительства системы BIM и стимулировать продвижение и развитие BIM в области строительства. Облачное хранилище, как передовая компьютерная технология, может использоваться для создания облачных систем хранения BIM для решения практических задач. Схема механизма хранения BIM представлена на рис. 1.

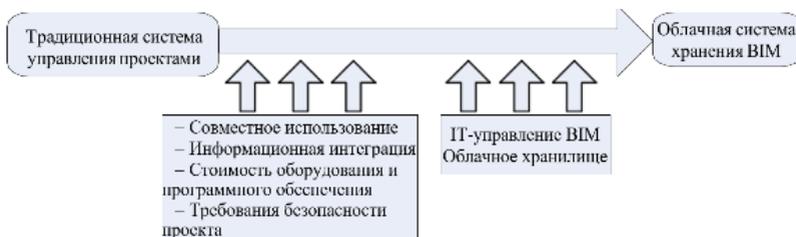


Рис. 1. Схема механизма хранения BIM

Интегрированное управление огромными объемами строительной информации является основным вопросом в процессе жизненного цикла строительства. Уровень хранения является фундаментальной частью облачного хранилища BIM и основой всей системы, которая объединяет всю информацию о строительстве. Его составными единицами могут быть устройства IP (протокол Интернета), такие как хранилище Fibre Channel, NAS (сервер сетевого доступа) и хранилище iSCSI (Интернет-интерфейс малых компьютерных систем), а также хранилище DAS (хранилище с прямым подключением), такое как SCSI (малая компьютерная система). Интерфейс и SAS (Serial Attached SCSI) также включены. Массивные распределенные облачные устройства хранения могут быть подключены через глобальную сеть (WAN), Интернет или оптоволоконные сети, а унифицированная система

управления оборудована для обеспечения логического виртуального, интегрированного и многоканального управления резервированием, а также служит средством переноса данных. проверки, техническое обслуживание и модернизация [6].

Базовый уровень управления является ядром облачного хранилища ВІМ и наиболее сложной частью. Базовый уровень управления позволяет многим пользователям облачного хранилища ВІМ взаимодействовать друг с другом и обеспечивает лучший унифицированный доступ к данным с помощью распределенной файловой системы и технологии распределенных вычислений кластерной системы.

Файловая операционная система кластера используется облачной системой хранения для выполнения внутренних действий кластера. Он осуществляет распределение, обработку и обратную связь данных с помощью блока управления и блока управления. С помощью системы распределения CDN (сети доставки контента), P2P (Peer-to-Peer) и технологии сжатия данных облачное хранилище ВІМ может эффективно работать с меньшим пространством и меньшей пропускной способностью передачи [8].

Управление рабочим процессом облачной системы хранения ВІМ включает шаблоны рабочего процесса, настройку рабочего процесса проекта, управление рабочим процессом и так далее. В функциях управления рабочим процессом рабочий процесс проекта поддерживается определением и моделированием потока, управлением потоком операций и взаимодействием с внешним миром для максимальной автоматизации рабочего процесса.

Для шаблона рабочего процесса облачная система хранения ВІМ предопределяет шаблоны инженерных процессов, такие как дизайн осмотра, изменение переговоров и схема построения общего рабочего процесса аудита. Для настройки рабочего процесса поддерживаются определяемые пользователем рабочие процессы и настраиваются рабочие листы, а обязанности персонала и этапы проектирования могут быть переданы и т. д., в то время как для управления рабочим процессом с помощью механизма рабочего процесса могут автоматически создаваться файлы журналов, включая процессы все вовлеченные стороны с функцией напоминания. Взяв в качестве примера изменение проекта, если владельцы намерены внести изменения в проект, они могут предложить в системе запросы к информационной модели ВІМ, и система автоматически регистрирует, а затем сохранит информацию. В то же время информация ВІМ передается участвующим в проекте сторонам, проектировщики вносят поправки в проект, руководство проекта, конструкторы и поставщики обсуждают и утверждают его.

Облачная система хранения ВІМ объединяет характеристики ВІМ с уровнем хранения, управлением инфраструктурой, уровнем интерфейса приложений, уровнем обслуживания приложений и уровнем доступа для создания лучшей системы и среды для достижения четырех функций, а именно: управление информационной безопасностью и аутентификацией ВІМ, информационными документами ВІМ, рабочим процессом и совместной работой ВІМ. Услуги, предоставляемые облачными системами хранения ВІМ, позволяют пользователям из разных мест легко получать доступ к облачной ВІМ, что значительно улучшает совместную работу и в то же время позволяет эффективно снижать затраты. Массовое управление и хранение информации в облаке может решить проблемы информационной нагрузки и трудности управления информационной безопасностью, возникающие из-за централизации информации, вызванной ВІМ.

Создание облачной системы хранения ВІМ открывает новые возможности и направления для роста популярности ВІМ во всей машиностроительной отрасли и, в конечном итоге, повышает производительность услуг ВІМ во всей строительной отрасли. Это окажет большое влияние на продвижение управления всей оцифрованной и инженерной информацией и развитие строительной отрасли.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова Л.А., Сапожников П.В., Кривчиков А.Н. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 12-24.

2. Рябчевский И.С., Кашуба С.О., Сулейманова Л.А. 4D ВІМ-моделирование объектов строительства в программном комплексе BENTLEY SYNCHRO PRO // Инновационные методы организации строительного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. С. 20-29.

3. Сулейманова Л.А. Темурзиева Р.Н., Рябчевский И.С. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью ВІМ-технологий // Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации в строительстве» – Белгород, 2020. С. 121-127.

4. Рябчевский И.С., Чесноков И.А., Сулейманов И.С. Технологии ВІМ в процессе управления жизненного цикла объектов строительства // VII Международный студенческий строительный форум – 2022: сб. докл.: в 2 т. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. С. 138-144.

5. Бурибаев Б.Б., Сергазыев Н.Т. Преимущества использования концепции пиринговых сетей в облачных ресурсах // Актуальные проблемы современной науки: V Международная научно-практическая конференция. – Ставрополь: Ставропольский университет, 2016. Т. II. С. 196-199.

6. Ding L., Xu X. Application of Cloud Storage on BIM Life-Cycle Management // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2014. No 11. P. 129.

7. Jiayi P., Yuanyu Z. Analysis of Impediment in BIM development of China's construction industry // Journal of Project Management. 2012. No 1. Pp. 6-11.

8. Qin L., Guojun W., Jie W. Secure and privacy preserving keyword searching for cloud storage services // Journal of Network and Computer Applications. 2012. No 35. Pp. 927-933.

## **О КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ КОСВЕННОГО МОНИТОРИНГА АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Тепикин Н.В., магистрант,  
Демидов Д.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Уральский государственный лесотехнический  
университет, г. Екатеринбург, Россия*

Мостовые сооружения являются ключевыми объектами транспортной инфраструктуры, но с течением времени при их эксплуатации они подвержены постепенному разрушению. Более того, многие из сооружений конструктивно несовершенны, поэтому требуется постоянный мониторинг их технического состояния.

При этом своевременное восстановление и замена конструктивных элементов мостовых сооружений, а также продление срока службы конструкций являются важными вопросами обеспечения механической безопасности.

Методы косвенного мониторинга технического состояния конструкций мостовых сооружений основаны на автоматическом обнаружении аномального поведения конструкций. Данные методы используют динамический отклик конструкций.

Идея косвенного подхода, при котором динамические свойства мостовых конструкций извлекаются из динамической реакции проезжающего транспортного средства, является недорогим, поэтому нет необходимости в прямой установке оборудования на мостовом сооружении. Он включает в себя транспортное средство, оснащенное датчиками, с помощью которых извлекаются динамические свойства моста. Благодаря взаимодействию между мостом и транспортным

средством, последнее можно рассматривать и как возбудитель, и как приемник.

Использование данных о вибрации конструкции для оценки повреждений заключается в том, что, если в конструкции происходит повреждение, это приводит к изменению ее физических свойств, например, к потере жесткости, и, следовательно, вызывает измеримые изменения в ее динамических свойствах.

Если на мостовом сооружении имеются повреждения, например, из-за растрескивания бетона, то жесткость, демпфирование и (или) масса мостового сооружения из-за этого повреждения изменяются, это ведет к изменению характеристики вибрации.

На основе обзора литературных источников [1–5] составлена классификация методов косвенного мониторинга автодорожных мостовых сооружений (табл. 1)

Таблица 1

**Классификация методов косвенного мониторинга автодорожных мостовых сооружений**

Наименование метода	Описание метода	Преимущества метода	Недостатки метода
1	2	3	4
<b>1. Метод сравнения частоты мостового сооружения под движущимся транспортным средством и частоты собственных колебаний мостового сооружения</b> (аналогичное название метода – метод резонансных частот)	Транспортное средство моделируется как подпружиненная масса, в то время как мост представлен просто поддерживаемой балкой. Измерения ускорения транспортного средства обрабатываются с использованием быстрого преобразования Фурье для получения частоты моста. Для повышения эффективности мониторинга рекомендуется использование грузового тягача с прицепом с встроенным акселерометром. Таким образом, во время испытания тягач будет действовать как возбудитель, а прицеп с акселерометром – как приемник.	Легко обнаруживает повреждения мостового сооружения. Эффективность метода подтверждена значительным числом проведенных экспериментов. Скорость движения транспортного средства приближена к средней скорости потока в населенном пункте.	Профиль дороги существенным образом влияет на реакцию транспортного средства, что увеличивает величину погрешности при проведении исследования. Скорость движения транспортного средства для получения наилучшего результата должна быть около 40 км/час, что снижает скорость транспортного потока на дорогах вне населенных пунктов и показывает невозможность применения на автомагистралях и скоростных дорогах.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
<p><b>2. Метод искусственного подавления колебаний</b> (метод демпфирования)</p>	<p>При ускорении транспортного средства, находящегося на мосту, собственная частота мостового сооружения и частота транспортного средства уменьшаются с увеличением демпфирования мостового сооружения. Из этого следует, что, если даже пик частоты мостового сооружения не обнаружен, изменение уровня демпфирования можно обнаружить путем анализа частоты транспортного средства.</p> <p>Предполагается, что изменения демпфирования могут указывать на повреждения мостового сооружения.</p> <p>Для более успешного мониторинга рекомендуется использовать шестиступенчатый алгоритм, который использует отклики на ускорения, измеренные на двух осях транспортного средства.</p>	<p>Метод не чувствителен к профилю дороги, что помогает более точно определить наличие повреждений в мостовом сооружении.</p>	<p>Не обнаружено информации о проведении практических экспериментов с использованием данного метода.</p> <p>Также не обнаружено информации о значении рекомендуемой скорости движения транспортного средства для цели более точного исследования.</p>
<p><b>3. Метод дополнительного механического воздействия</b></p>	<p>Движущееся транспортное средство оснащено акселерометром и вибратором для искусственного управления приложенной силой. К мосту от транспортного средства прикладывается контролируемая сила. Реакция транспортного средства на нагрузку измеряется и используется для построения точечного (адресного) полного сопротивления, что позволяет обнаружить повреждения.</p>	<p>Легко обнаруживает повреждения мостового сооружения.</p>	<p>Скорость транспортного средства для проведения изменений должна быть ниже средней скорости транспортного потока. Существует лишь теоретическое обоснование данного метода (экспериментального подтверждения нет).</p>

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
<p><b>4. Метод использования дефлектометра скорости движения</b></p>	<p>Дефлектометр представляет собой набор бесконтактных лазеров, установленных на равном расстоянии друг от друга на жесткой балке грузового транспортного средства. Метод предполагает измерения жесткости на каждом испытательном участке в течение нескольких минут.</p>	<p>Высокая точность и быстрота измерений. Метод может применяться, допуская высокие скорости транспортного средства (до 80 км/час).</p>	<p>Применяется дорогостоящее оборудование. Существует лишь теоретическое обоснование данного метода (экспериментального подтверждения нет).</p>
<p><b>5. Метод измерения вибрации шины</b></p>	<p>Система мониторинга мостовых сооружений основана на измерениях вибрации на транспортном средстве общественного транспорта, например, автобуса. Для мониторинга разрабатываются индексы безопасности или повреждений – параметр структурной аномалии и характерный прогиб, которые извлекаются из измерений вибрации шины. Отклонения оцениваются с использованием интегралов по волнам ускорения, полученных с помощью преобразования Фурье. Предполагается, что, когда характерный прогиб превысил определенный предел, можно делать вывод, что мостовое сооружение имеет признаки износа.</p>	<p>Предполагается, что данный метод будет относительно нечувствительным к вибрационным характеристикам мостового сооружения и транспортного средства, а также к профилю дороги.</p>	<p>Возможно использование одного и того же транспортного средства для всех измерений. Чувствительность к повреждениям не подтверждена экспериментально.</p>

1	2	3	4
<b>6. Метод использования вейвлет-преобразования</b>	Определяется коэффициент вейвлет-преобразования, который изменяется во время перемещения транспортного средства по проезжей части мостового сооружению.	Предполагается, что данный метод позволяет обнаруживать более глубокие повреждения в сравнении с остальными методами.	Требуется низкая скорость транспортного средства (около 10 км/час), что снижает скорость транспортного потока на дорогах вне населенных пунктов и показывает невозможность применения на автомагистралях и скоростных дорогах. Существует лишь теоретическое обоснование данного метода (экспериментального подтверждения нет).

Частота собственных колебаний – самый известный показатель моста, который можно определить косвенными методами. Однако, изменения частоты, вызванные повреждениями, как правило, невелики и могут быть замаскированы изменениями, вызванными условиями окружающей среды и эксплуатации. Кроме того, одних только изменений частоты недостаточно для однозначного определения местоположения повреждения конструкции.

Основными проблемами для применения методов косвенного мониторинга моста являются влияние профиля дороги, ограниченное время мониторинга и воздействие окружающей среды (температура воздуха, скорость ветра и т.д.).

Устранение влияния профиля дороги можно обеспечить с помощью концепции вычитания сигналов от идентичных осей, хотя это требует очень высокой точности измерений. Решением проблемы ограниченного времени является косвенный мониторинг с использованием транспортных средств, которые неоднократно проезжают по мосту.

Таким образом, преодоление рассмотренных проблем обеспечит широкое внедрение методов косвенного мониторинга мостов на практике.

### Библиографический список

1. González A. Vehicle-bridge dynamic interaction using finite element modelling / A. González. – DOI 10.5772/10235. – Текст : электронный // Finite Element Analysis. – Sciyo, Rijeka, Croatia. – 2010. – pp. 637–662. – URL: <https://researchrepository.ucd.ie/server/api/core/bitstreams/15868f49-ff82-430e-98a3-4b8d25946dfb/content> (дата обращения: 14.02.2023).

2. González A. Detection of bridge dynamic parameters using an instrumented vehicle / A. González, E. J. O'Brien, P. J. McGetrick. – Текст : электронный // Proceedings of the 5th World Conference on Structural

Control and Monitoring, Tokyo, Japan. – 2010. – 13 pages. – URL: <https://researchrepository.ucd.ie/server/api/core/bitstreams/db3f5d28-bca3-4930-b0c6-097d7e68cf53/content> (дата обращения: 14.02.2023).

3. Kim C. W. Challenge for a drive-by bridge inspection / C. W. Kim, M. Kawatani. – Текст : электронный // Proceedings of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR '09). – Osaka, Japan. – 2009. – pp. 758–765. – URL: [https://www.researchgate.net/profile/Chul-Woo-Kim/publication/308140707\\_Challenge\\_for\\_a\\_drive-by\\_bridge\\_inspection/links/5d3fd6f3a6fdcc370a6bd067/Challenge-for-a-drive-by-bridge-inspection.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chul-Woo-Kim/publication/308140707_Challenge_for_a_drive-by_bridge_inspection/links/5d3fd6f3a6fdcc370a6bd067/Challenge-for-a-drive-by-bridge-inspection.pdf) (дата обращения: 14.02.2023).

4. Kohm M. Influence of vehicle traffic on modal-based bridge monitoring / M. Kohm, L. Stempniewski, A. Stark. – Текст : электронный // Journal of Civil Structural Health Monitoring. – 2023. – no. 13. – pp. 219–234. – URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13349-022-00630-z.pdf?pdf=button%20sticky> (дата обращения: 14.02.2023).

5. Yabe A. Development of bridge monitoring system for short- and medium-span bridges based on bus vibration / A. Yabe, A. Miyamoto, S. Isoda, N. Tani. – Текст : электронный // Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series F4 (Construction and Management). – 2013. – vol. 69. – no. 2. – pp. 102–120. – URL: <http://claisse.info/2013%20papers/data/e557.pdf> (дата обращения: 14.02.2023)

## **ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ**

**Черников А. Ю., аспирант,  
Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Обследование технического состояния зданий и сооружений является одним из непременных составляющих жизненного цикла объектов капитального строительства. На таких жизненных этапах любого объекта капитального строительства, как капитальный ремонт, реконструкция или возобновление строительства после длительной приостановки без мероприятий по консервации, особенно при утере проектной и изыскательской документации, обследование технического состояния является тем шагом, с которого начинается перечисленные жизненные этапы [1-5].

На сегодняшний день при выполнении обследований зданий и сооружений в части инструментальных измерений ключевую роль

играет определение и оценка прочности монолитных и сборных железобетонных конструкций, потому что именно бетон, как строительный материал, имеет наибольшее распространение в конструкциях зданий и сооружений: фундаменты, стены, перекрытия и покрытия, лестничные марши и площадки, прогоны и ригеля, фермы, балки и перемычки – это лишь укрупненный перечень конструкций из бетона.

При обследовании действующих объектов применяются неразрушающие методы определения прочности бетона, так как разрушающие методы использовать при исследовании нагруженных расчетной нагрузкой конструкциях недопустимо.

Среди неразрушающих методов определения прочности бетона существуют косвенные и прямые методы [6].

Косвенные методы не определяют прочность бетона напрямую, а измеряют показатель, который характеризует прочность бетона. Затем определение прочности бетона осуществляется расчетным методом по линейному уравнению вида:

$$R = aH + b$$

где  $R$  – прочность бетона, МПа;  $H$  – косвенная характеристика прочности бетона;  $a, b$  – коэффициенты, устанавливаемые экспериментально [7-9].

Уравнение называется градуировочной зависимостью и связывает косвенный показатель прочности непосредственно с прочностью бетона на сжатие. Градуировочная зависимость устанавливается путем параллельных испытаний одних и тех же участков применяемым косвенным неразрушающим методом и разрушающим или одним из прямых неразрушающих методов.

Косвенные методы по их механизму можно разделить на 2 вида – механические и ультразвуковой. Механические методы, по сути, основаны на определении твердости поверхности бетона и все приборы, используемые при работе с механическими методами, являются склерометрами. Ультразвуковой метод измеряет скорость распространения ультразвуковых колебаний в теле бетона.

Прямые методы тоже в общем понимании являются косвенными методами и не измеряют непосредственно прочность бетона, но все же измеряют показатели, имеющие большую корреляцию непосредственно с прочностью бетона, так как при испытании происходит местное локальное незначительное разрушение бетона, которое существенно не сказывается на работе конструкции и впоследствии восстанавливается ремонтными составами. В зарубежной литературе такие методы называются «инвазивными» [10]. При этом прямые методы кардинально отличаются от косвенных тем, что не требуют предварительного построения градуировочной зависимости и

допускают применение универсальной, установленной ранее авторами ГОСТ 22690. Так же прямые методы допускаются для установления градуировочной зависимости для косвенных механических и ультразвукового методов.

Классификация существующих методов неразрушающего контроля представлена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация неразрушающих методов

Показатели, определяемые каждым из методов неразрушающего контроля, сведены в табл. 1.

Косвенные и прямые методы неразрывно связаны друг с другом и их применение по отдельности на практике невозможно по ряду причин.

Невозможность применения косвенных методов самих по себе без участия прямых неразрушающих или разрушающих вытекает из того факта, что для их применения требуется построение градуировочной зависимости, которое невозможно без прямых неразрушающих или разрушающих методов. Многие заводы-изготовители современных приборов неразрушающего контроля в прошивке программного обеспечения приборов используют некие ранее установленные заводом-изготовителем зависимости, которые позволяют отображать на дисплее прибора не только косвенную характеристику, но и значение прочности бетона. Но этот факт является, вероятно, маркетинговым ходом для привлечения неосведомленного покупателя, так как «заводские» градуировочные зависимости нелегитимны с точки зрения утвержденных Федеральным агентством по техническому регулированию методов неразрушающего контроля в соответствии с ГОСТ 22690 и ГОСТ 17624.

Таблица 1

**Косвенные показатели неразрушающих методов**

№ п/п	Метод	Измеряемый показатель	Единица измерения
Косвенные методы механические по ГОСТ 22690			
1	Ударного импульса	Электрический импульс, формирующийся в пьезоэлементе при соударении с поверхностью бетона при неизменной энергии удара. Тем сильнее, чем выше твердость бетона	Зависит от изготовителя прибора
2	Упругого отскока	Величина отскока бойка от поверхности бетона при постоянной силе удара	мм
3	Пластической деформации	Величина отпечатка на поверхности бетона при ударе бойка постоянной площади с постоянной силой удара	мм
4	Отрыв	Усилие отрыва стального диска, приклеенного к поверхности бетона эпоксидным составом, с разрушением по бетону	кН
Косвенный метод ультразвуковой по ГОСТ 17624			
5	Ультразвуковой	Скорость распространения ультразвуковых колебаний или время распространения	м/с мкс
Прямые методы механические по ГОСТ 22690			
6	Отрыва со скалыванием	Усилие вырыва анкерного устройства из тела бетона с разрушением бетона и образованием «пятна» отрыва	кН
7	Скалывание ребра	Усилие местного скола ребра прямоугольной конструкции	кН

Прямые же неразрушающие методы допускают применение универсальной градуировочной зависимости и, казалось бы, могут использоваться сами по себе. Тем не менее, на практике такое возможно только для проведения небольшого количества измерений отдельных конструкций или зоны конструкции. Разберем на конкретных примерах данное утверждение.

*Пример 1.* Техническим заданием поставлена задача определить прочность монолитной подпорной стены длиной 20 метров и высотой 3 метра, которая была выполнена из одной партии бетонной смеси одновременно. Согласно ГОСТ 18105 на данной конструкции необходимо выполнить не менее одного измерения на 20 м<sup>2</sup>. Общая площадь конструкции 60 м<sup>2</sup>, следовательно, достаточно трех измерений для определения прочности конструкции. В этом случае использовать

косвенный метод крайне нецелесообразно, так как в соответствии с ГОСТ 22690 или ГОСТ 17624 для построения градуировочной зависимости требуется не менее 12 параллельных измерений косвенным и прямым методом, в то время как для определения прочности приведенной в примере стены, достаточно всего трех измерений. Поэтому для решения задачи оптимально будет выполнить три измерения прямым методом неразрушающего контроля с использованием стандартной градуировочной зависимости.

*Пример 2.* Техническим заданием поставлена задача определить прочность 30 монолитных железобетонных колонн строящегося жилого здания, которые были выполнены из одной партии бетонной смеси одновременно. Согласно ГОСТ 18105 для колонн и пилонов необходимо выполнить не менее 6 измерений на одной конструкции. Общее количество конструкции 30 штук, следовательно, необходимо не менее 180 измерений для решения поставленной задачи. В данном случае использование только одного прямого метода практически невозможно, так как:

- метод отрыва со скалыванием или скалывания ребра требует высоких трудозатрат, а также затрат на расходные материалы (буры, анкера или их сегменты) и выполнение 180 измерений прямым методом технико-экономически нецелесообразно;

- согласно ГОСТ 22690 измерения прямыми методами следует выполнять в зоне наименьших напряжений конструкции, вызываемых эксплуатационной нагрузкой, что сужает зону возможного расположения контролируемых участков. Таким образом, все 6 измерений сконцентрируются на небольшом фрагменте конструкции и, если одно измерение приводит к незначительному разрушению в пределах защитного слоя бетона, то сразу 6 измерений уже приведут к потере сечения колонны и, возможно, даже необходимости ее усиления.

Учитывая приведенные выше аргументы, оптимальный способ решения поставленной задачи – это выполнение 180 измерений одним из косвенных методов (например, ультразвуковым), который не требует значительных трудозатрат, может выполняться в любой зоне конструкции вне зависимости от напряжений в ней и не разрушать ее, а затем, выбрав из выполненных 180 измерений 12 значений, подходящих для построения градуировочной зависимости, выполнить измерения на тех же 12 участках прямым методом. Установленная по результатам параллельных измерений градуировочная зависимость может быть применена ко всем 180 измерениям косвенным методом и, таким образом, задача по определению прочности бетона колонн будет решена максимально технико-экономически целесообразно.

На этапе управления жизненным циклом объекта капитального строительства при его капитальном ремонте или реконструкции,

потребуется выполнение обследования строительных конструкций и инструментальное определение прочности железобетона. Но выполнение измерений требует рационального подхода и детального знания положений по меньшей мере трех национальных стандартов (ГОСТ 22690, ГОСТ 17624 и ГОСТ 18105), а также знания отечественного парка приборов неразрушающего контроля и особенностей их применения.

### **Библиографический список**

1. Бедов А., Знаменский В., Габитов А. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2-х частях. Ч. 1. - Москва: Изд-во АСВ, 2014. 703 с.
2. Сулейманова Л.А. Энергия внутренних связей в материале – основа его прочности, деформативности и сопротивляемости различным факторам // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 154-159.
3. Сулейманова Л.А. Энергия связи – основа конструктивных и эксплуатационных характеристик бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9(585). С. 91-99.
4. Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой, механизм его разрушения и оценка этого процесса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 68-75.
5. Сулейманова Л.А., Крючков А.А., Есипов С.М., Амелин П.А. Цифровое обследование зданий и сооружений, поврежденных в результате чрезвычайных ситуаций // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации: Сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022. С. 201-203.
6. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 59 с.
7. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 19 с.
8. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля (EN 12504-2:2001, NEQ) (EN 12504-3:2005, NEQ). – Москва: Стандартинформ, 2019. – 23 с.
9. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 20 с.
10. J. Helal. Non-Destructive Testing of Concrete: A Review of Methods // Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering 14(1). 2015. № 1. С. 97-105.

Научное издание

VII Международная  
научно-практическая конференция  
«Наука и инновации в строительстве»,  
посвященная 170-летию В. Г. Шухова

Сборник докладов

Ответственный за выпуск **Сулейманова** Людмила Александровна

Компьютерная верстка **Богачева** Марина Александровна

Подписано в печать **28.04.23**. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 13,1. Уч.- изд. л. 14,1.

Тираж **74** экз. Заказ № Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

