

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

**IX Международная  
научно-практическая конференция  
«Наука и инновации  
в строительстве»**

Сборник докладов

(Белгород, 15 апреля 2025 г.)

Белгород  
2025

УДК 69  
ББК 38  
Д25

Д25 **IX** Международная научно-практическая конференция  
«Наука и инновации в строительстве»: сб. докл., Белгород,  
15 апреля 2025 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – 325 с.

ISBN 978-5-361-01510-8

В сборник вошли доклады, представленные участниками IX Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве», состоявшейся в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова 15 апреля 2025 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», «Техническая эксплуатация и реконструкция объектов жилищно-коммунального комплекса и городской инфраструктуры», «Комплексная безопасность и ресурсосбережение зданий и сооружений», «Материаловедение и эффективные материалы в строительстве».

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 978-5-361-01510-8

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

## 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-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
- Меркулов С.И. – заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Курского государственного университета, член-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
- Есипов С.М. – 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

<b>Предисловие</b> .....	<b>9</b>
<b>Направление Строительные конструкции, здания и сооружения</b>	
<b>Ахтямов А.В.</b> Расчет цилиндрической оболочки, подкрепленной ребрами жесткости.....	<b>11</b>
<b>Водяхин Н.В., Солодов Н.В.</b> Методика анализа результатов испытания образцов сварных и комбинированных соединений.....	<b>16</b>
<b>Дрокин С.В., Фролов Н.В., Обернихин Д.В.</b> Опыт эксплуатации панелей перекрытия из ячеистого бетона.....	<b>24</b>
<b>Зубкова М.Н., Кочерженко В.В.</b> Показатели и критерии, определяющие эффективность и конкурентоспособность технологии устройства грунтовых анкеров.....	<b>27</b>
<b>Кириллова Е.А. Кочерженко В.В.</b> Повышение жесткости стального каркаса с применением криволинейных элементов.....	<b>30</b>
<b>Крутикова М.А., Серых В.Д.</b> Обеспечение живучести мостов.....	<b>35</b>
<b>Крючков А.А., Рыбаков Д.А.</b> Напряженно-деформированное состояние нормальных сечений железобетонных элементов.....	<b>39</b>
<b>Марченко А.В., Крючков А.А.</b> Аналитический обзор нелинейных моделей для расчетов напряженно- деформированного состояния железобетонных конструкций.....	<b>42</b>
<b>Мигулина А.А., Обернихин Д.В., Дрокин С.В.</b> Повышение устойчивости к прогрессирующему обрушению многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона введением стальных связевых элементов.....	<b>47</b>
<b>Овсянников С.И., Руденко О.Л., Загуляева А.Р., Скирдин Д.С.</b> Обоснование породного состава древесины CLT панелей для многоэтажных деревянных зданий.....	<b>52</b>
<b>Овсянников С.И., Руденко О.Л.</b> Особенности расчета многопролетной композитной балки.....	<b>57</b>
<b>Панченко Л.А.</b> Волокнистые композиты в тонкостенных конструкциях.....	<b>63</b>
<b>Рыбаков Д.А., Крючков А.А.</b> Подходы к оценке НДС железобетонных элементов.....	<b>69</b>
<b>Солодов Н.В., Рябоконт И.Р., Сенкевич А.Д.</b> Напряжения в стенке двутавра при идеализации приложения локальной нагрузки: численное моделирование.....	<b>72</b>
<b>Сулейманова Л.А., Иванчиков А.В., Се Ди.</b> Исследование прочности при изгибе образцов кладки из ячеистобетонных блоков.....	<b>77</b>

<b>Фролов Н.В., Жилин Д.А., Черских Д.Ю.</b>	
Сравнение нагрузок от собственного веса, определенных при автоматизированном статическом расчете и конструировании стальной фермы покрытия из замкнутых гнуто-сварных профилей.....	81
<b>Юрьев А.Г., Смоляго Н.А.</b>	
Подбор материала для деформируемых систем.....	86
<b>Юрьев А.Г.</b>	
Конфигурация и материал конструкций с позиций вариационного принципа стационарного действия.....	89
<b>Направление Информационное моделирование зданий и сооружений</b>	
<b>Крючков А.А., Мирошников Д.А.</b>	
Применение технологии виртуальной реальности в профессиональной подготовке будущих инженеров-строителей.....	92
<b>Курочкин И.Н., Волкодав И.А.</b>	
Анализ существующих подходов к определению стоимости и сроков строительства индивидуального дома.....	96
<b>Лимощенко В.А., Есипов С.М.</b>	
Взаимодействие BIM-систем с технологией виртуальной реальности.....	101
<b>Лобанов Д.В., Аносов С.В.</b>	
Технологии 3D лазерного сканирования в строительстве.....	105
<b>Фролов Н.В., Дрокин С.В., Обернихин Д.В.</b>	
Использование данных из геоинформационных систем при обследовании технического состояния зданий и сооружений.....	111
<b>Направление Современные организационно-технологические решения в строительстве, цифровое управление строительной площадкой</b>	
<b>Кочерженко В.В., Кутومانов Д.Е., Столярова В.В.</b>	
Сравнение эффективности блочного и поэлементного методов монтажа большепролетных стальных ферм при возведении покрытий одноэтажных промышленных зданий.....	115
<b>Максимов В.А.</b>	
Современное состояние вопроса в части водно-теплого режима автомобильных дорог.....	120
<b>Погорелова И.А., Су Хунсюань</b>	
Роботы-манипуляторы в современном строительстве.....	130
<b>Радайкин А.Г., Ивонина О.Г.</b>	
Структурная модель цифровой экосистемы строительной отрасли.....	136
<b>Сафончик Д.И., Павлов А.С.</b>	
К вопросу о целесообразности применения BIM-технологий при изготовлении и монтаже металлоконструкций.....	140
<b>Судейманова Л.А., Ван Сяонин</b>	
Зеленое строительство модульных зданий.....	145
<b>Фотиади А.А., Мамиев Д.Ж., Гнездилова С.А.</b>	
Потребность дорожной отрасли в кадрах.....	151

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

**Демин В.О.**

Критерий нарушения анкеровки стальной арматуры периодического профиля. 155

**Нестеров Д.М., Абсиметов В.Э., Салтанова Е.В.**

Управление жизненным циклом объекта в условиях неопределенности и риска 159

**Никулина Ю.А., Сулейманова Л.А.**

О влиянии влажностных условий на характеристики бетонов на завершающем этапе эксплуатации объекта капитального строительства при управлении его жизненным циклом..... 163

**Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Овчинников Е.В.**

Реализация алгоритмов машинного обучения в Statistica Neural Networks для прогнозирования прочности железобетонных элементов..... 168

**Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Левшин А.М., Овчинников Е.В.**

Использование компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей при оптимизации строительных процессов..... 173

**Фетисов А.С., Абсиметов В.Э., Салтанова Е.В.**

Анализ факторов применения искусственного интеллекта для оптимизации управленческих решений при восстановлении гидроизоляции строительных объектов..... 178

**Шарапов О.Н., Марушко М.В., Зюбанов А.В.**

К вопросу об интегрируемых интеллектуальных системах зданий..... 182

**Шарапов О.Н., Марушко М.В., Зюбанов А.В.**

Исследования передовых и инновационных технологий интеллектуализации зданий..... 187

## **Направление Техническая эксплуатация и реконструкция объектов жилищно-коммунального комплекса и городской инфраструктуры**

**Кликунов Н.Д., Андреев Р.А.**

Безопасность и комфорт в жилых комплексах: роль технической эксплуатации 192

**Косухин М.М., Погорелова А.И., Косухин А.М.**

Совершенствование механизмов подготовки и проведения капитального ремонта жилищного фонда..... 195

**Павелкова А.М., Спицов Д.В.**

Основные способы снижения затрат воды на регенерацию натрий-катионитовых фильтров..... 200

**Руколеев А.В.**

Эффективность использования детандеров в системах газораспределения: преимущества и недостатки..... 203

**Силюк Р.А., Назаренко Е.И.**

Повышение долговечности инженерных сетей городской инфраструктуры: новые материалы, методы ремонта и профилактики износа трубопроводов..... 206

## **Направление Комплексная безопасность и ресурсосбережение зданий и сооружений**

**Дудченко К.А., Кладиева П.В.**

Обеспечение безопасности на объектах инфраструктуры..... 210

<b>Мощенко А.Н., Есипов С.М.</b> Повышение класса энергоэффективности зданий с использованием систем «Умный дом» .....	213
<b>Ратушняк В.Р., Есипов С.М.</b> Исследование доступных методов конструктивной огнезащиты железобетонных колонн и определение их эффективности на основе эксперимента в программном комплексе ELCUT.....	217
<b>Ткач Л.В.</b> Существующие методы регулирования расхода воздуха в системах промышленной вентиляции.....	222
<b>Направление Материаловедение и эффективные материалы в строительстве</b>	
<b>Агафонов Я.Е.</b> Оценка эффективности использования стеновых конструкций с применением композиционных гипсовых вяжущих.....	227
<b>Бездетко Е.О., Василенко Т.А.</b> Применение биотехнологических методов в оценке коррозии строительных материалов.....	232
<b>Воронцов В.М., Рябцева С.В., Яремчук М.В.</b> Модифицирующая добавка для стеклощелочного вяжущего.....	239
<b>Ермак Я.Ю., Алифанова Э.С., Дураченко А.В.</b> Инновационные материалы в строительстве. Гибкий бетон.....	243
<b>Казлитина О.В., Сопин Д.М.</b> Пути повышения ударной прочности бетонов.....	246
<b>Калмагамбетова А.Ш., Сериккызы Г.</b> Исследование антикоррозионного состава на основе местных сырьевых материалов.....	250
<b>Куценко П.А., Пириева Л.Ю., Абзалилова А.В.</b> Хризотил-цемент как перспективный материал в строительстве.....	255
<b>Максимов В.А.</b> Особенности функционирования горизонтальной дорожной разметки на проезжей части автомобильной дороги.....	259
<b>Марушко М.В., Погорелова И.А., Сулейманова Л.А.</b> Влияние рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики термовакuumированного неавтоклавного ячеистого бетона на основе гусиноозерской золы-уноса.....	268
<b>Мотко В.О., Когай А.Д., Дмитриева М.А.</b> Применение торфа в строительных технологиях.....	273
<b>Овчинников Е.В., Лях О.В., Серко Е.В., Миклашевич А.П.</b> Износостойкие полиэфирные покрытия для строительных конструкций.....	277
<b>Овчинников А.Е., Свистун А.Ч.</b> Технология формирования электроискровых покрытий для строительной техники.....	283
<b>Пириев Ю.С., Пардаев М.Р., Тищенко А.Е.</b> Устойчивость пенобетона к экстремальным условиям.....	287

<b>Пшеничных М.А., Сивальнева М.Н.</b>	
Применение эффекта «ЛОТОСА» при разработке строительных материалов...	<b>290</b>
<b>Рябчевский И.С., Погорелова И.А., Сулейманова Л.А.</b>	
Проектирование рецептурно-технологических факторов производства теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей.....	<b>294</b>
<b>Сопин Д.М., Казлитина О.В., Лобачев Ю.А.</b>	
Бетоны повышенной прочности, армированные дисперсными волокнами.....	<b>299</b>
<b>Сопин Д.М., Казлитина О.В., Лобачев Ю.А.</b>	
Перспективы использования ячеистого бетона.....	<b>303</b>
<b>Сулейманова Л.А., Пахомов В.Е.</b>	
Использование полимерных отходов для получения строительных блоков пиролитическим методом.....	<b>308</b>
<b>Трепков Н.Р., Борисов И.С.</b>	
Перспективы производства строительных материалов и изделий с использованием техногенного сырья Ленинградской области.....	<b>313</b>
<b>Чекан Н.М., Овчинников Е.В., Акула И.П., Линник Д.А., Адамчик А., Белоусов Д. В.</b>	
Плазмохимические сверхтвердые вакуумные покрытия для инструмента, предназначенного для обработки бетона.....	<b>318</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник докладов опубликован по результатам IX Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве», которая состоялась 15 апреля 2025 года в БГТУ им. В.Г. Шухова.

Организатором конференции является кафедра строительства и городского хозяйства.

Работа IX Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве» 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
- Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
- Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия
- Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия
- Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
- Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия
- Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия

– Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

– Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

– Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

– Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь

– Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

– Хулунбуирский университет, г. Хулунбуир, Китай

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

Оргкомитет

# НАПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

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

Тонкостенные оболочки являются одними из наиболее прогрессивной пространственной конструкции. Они находят большее применение в машиностроении, судостроении, ракетостроении, строительстве и во многих других областях техники.

С целью снижения веса и увеличения жесткости оболочек применяют различные ребра жесткости. При этом достигается снижение материалоемкости системы без изменения их несущей способности.

Разработка эффективных методов расчета является актуальной задачей в прикладной механике.

В статье рассматривается замкнутая цилиндрическая оболочка, подкреплённая горизонтальными ребрами жесткости, расчетная схема которой представлена на рис. 1.

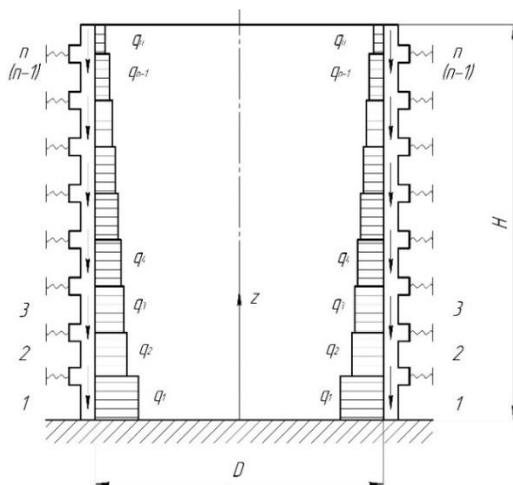


Рис. 1. Расчетная схема цилиндрической оболочки с горизонтальными ребрами жесткости

В статическом отношении такая оболочка представляет собой сложную многоконтактную систему. Сложность расчета такой системы заключается в том, что частое расположение ребер исключает возможность использования безмоментной теории и теории краевого эффекта, с другой стороны – расстояние между ребрами жесткости не настолько мало, чтобы применять ортотропную методику расчета, при которой жесткость ребер «размазывается» по всей оболочке. В связи с этим расчет требуется строить в строго моментной постановке с учетом дискретного расположения ребер.

В основу расчета положены уравнения прочности и устойчивости, полученные И.Е. Милейковским [1] для цилиндрических оболочек зернохранилищ. Эти уравнения в косоугольной неортогональной системе координат имеют вид:

$$\frac{D}{\sin^4 \omega} (\nabla^4 + \nabla_x^4) \times w(s, z_2) + \frac{1}{\sin^2 \omega} \nabla_{x+x_0}^2 \times \varphi(s, z_2) + \frac{1}{R} \times \frac{\partial^2 \varphi(s, z_2)}{\partial z_2^2} = q, \quad (1)$$

$$-\frac{1}{R} \times \frac{\partial^2 w(s, z_2)}{\partial z_2^2} - \frac{1}{\sin^2 \omega} \nabla_{\frac{1}{2}x+x_0}^2 w(s, z_2) + \frac{B}{\sin^4 \omega} (\nabla^4 + \nabla_x^4) \times \varphi(s, z_2) = 0$$

$$\text{где } \nabla^4 = \left( \frac{\partial^2}{\partial s^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_2^2} \right),$$

$$\nabla_x^2 = \left[ \frac{\partial^2 \omega}{\partial s^2} \times \frac{\partial^2}{\partial z_2^2} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial s \partial z_2} \times \frac{\partial^2}{\partial s \partial z_2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z_2^2} \times \frac{\partial^2}{\partial s^2} \right]$$

$$\nabla^4 = -4 \cos \omega \left[ \frac{\partial^4}{\partial s^2 \partial z_2} - \cos \omega \frac{\partial^4}{\partial s^2 \partial z_2^2} + \frac{\partial^4}{\partial s \partial z_2^3} \right] \quad (1a)$$

$$\nabla_{\frac{1}{2}x+x_0}^2 = \frac{1}{2} \nabla_x^2 + \nabla_{x_0}^2; \nabla_{x+x_0}^2 = \nabla_x^2 + \nabla_{x_0}^2,$$

где  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость оболочки,  $h$  – толщина оболочки;  $E, h$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона,  $R$  – радиус оболочки,  $B = \frac{1}{Eh}$  – податливость в отношении тангенциальных деформаций.

С учетом симметрии системы и действующей нагрузки уравнения (1) принимают вид:

$$\frac{D}{\sin^4 \omega} \times \frac{\partial^4 w(z_2)}{\partial z_2^4} - \frac{1}{\sin^2 \omega} \times \frac{\partial^2 w(z_2)}{\partial z_2^2} \times \frac{\partial^4 \varphi}{\partial s^2} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z_2^2} = q$$

$$-\frac{1}{R} \times \frac{\partial^2 w(z_2)}{\partial z_2^2} + \frac{B}{\sin^4 \omega} \times \frac{\partial^4 \varphi}{\partial z_2^4} = 0 \quad (2)$$

После несложных преобразований (учитывая  $\sin \omega \approx 1, \cos \approx 0$ ) получено разрешающее уравнение «нелинейного краевого эффекта» [1]:

$$Dw^{IV}(z) + pw'(z) + \frac{Eh}{R^2} w(z) = q + \frac{\nu p}{R} - p\tilde{w}_0'(z), \quad (3)$$

где  $\tilde{w}_0(z)$  – функция начальной погиби. Данное уравнение описывает поведение отдельной обечайки, закрепленной между двумя соседними ребрами жесткости (рис. 1).

Будем рассматривать такую ребристую оболочку как дискретно-континуальную систему и для ее расчета используем метод начальных параметров, предложенный В.З. Власовым [2] и получивший развитие в работах А.Р. Ржаницына [3], В.А. Котуранова [4] и других работах.

Данный метод обеспечивает высокую степень точности и удобен для применения в вычислительной практике из-за операций над матрицами малых порядков. Однако при решении дифференциальных уравнений на значительном интервале интегрирования система векторов решения, ортогональная в начале интервала, при удалении от него становится все более коллинеарной. Тогда система алгебраических уравнений, из которой на другом конце определяются произвольные постоянные, оказывается вырожденной. Для преодоления этого недостатка использован метод дискретной ортогонализации, предложенный С.К. Годуновым [5]. Применение метода начальных параметров в сочетании с методом ортогональной прогонки позволяет обеспечить высокую точность решения задач для любого размера оболочек.

Переходим к изложению сути метода. Общее решение уравнения (3) имеет вид:

$$w(z) = C_1 ch\delta z \cos \gamma z + C_2 sh\delta z \sin \gamma z + C_3 ch\delta z \sin \gamma z + C_4 sh\delta z \cos \gamma z + \frac{\bar{q}R^2}{Eh} + \frac{q^* pR^2}{Eh} \left( \frac{2pR^2}{Eh} - \frac{l^2}{6} + lz - z^2 \right), \quad (4)$$

где  $q^* = \frac{192\nu h}{l^4}$ ,  $\nu h$  – амплитуда начальной погиби при  $z = l/2$ .

Уравнение начальной погиби задаем в виде [1]:

$$\tilde{w}_0(z) = \nu h \left( \frac{16z^2}{l^2} - \frac{32z^3}{l^3} + \frac{16z^4}{l^4} \right) \quad (5)$$

Выражая постоянные интегрирования  $C_1, C_2, C_3, C_4$  через начальные параметры  $w_0, w_0', w_0'', w_0'''$  и подставляя их в (5) получаем систему уравнений:

$$\begin{pmatrix} w \\ w' \\ w'' \\ w''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_{10} \\ w'_{10} \\ w''_{10} \\ w'''_{10} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_{01} \\ A_{02} \\ A_{03} \\ A_{04} \end{pmatrix} \quad (6)$$

По найденным значениям функции и ее производным все компоненты НДС оболочки определяются по формулам:

$$\begin{aligned} w_{o6} &= w(z), \theta_{o6} = -w'(z); M_{o6} = -Dw''(z) \\ Q_{o6} &= -Dw'''(z) - pw'(z); N_s = \frac{Eh}{R}w(z) - \frac{\nu p}{R} \end{aligned} \quad (7)$$

Граничные условия на нижнем конце оболочки имеют вид:

$$\vec{w}_{10} = [H] \times \vec{w}_0 \quad (8)$$

Параметры конца первого участка через основные начальные параметры  $w_0, w_0'$  выражаются с помощью преобразования:

$$[A, H] = [A_1] \times [H] + [A_0] \quad (9)$$

Переход от параметров конца первого регулярного участка к параметрам начала второго участка производится по выражениям, определяющим условия их сопряжения:

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ w_0' \\ w_0'' \\ w_0''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} |w_0| \\ |w_0'| \\ |w_0''| \\ |w_0'''| \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_{01} \\ B_{02} \\ B_{03} \\ B_{04} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Условия сопряжения  $[B]_{(1)}$  получены исходя из картины деформирования ребра и усилий, действующих на ребро со стороны оболочки [6]:

$$\begin{aligned} w_p^B &= w_p^H + \theta_p^H l_0; \theta_p^B = \theta_p - \theta_p^H \\ M_p^B &= M_p^H + \frac{ES_z}{R^2} w_p + \frac{EJ_z}{R^2} \times \theta_p \\ Q_p^B &= Q_p^H + \frac{EF_z}{R^2} w_p + \frac{ES_z}{R^2} \times \theta_p \end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя выражение (9) в (10), получим значения параметров для начала второй обечайки:

$$[B]_{(1)} \times [A, H] = [B, AH] \quad (12)$$

Тогда для конца последнего  $n$ -го участка преобразование метода начальных параметров имеет вид:

$$[A_n B_{n-1} \dots B_2 A_2 B_1 A_1 H] \quad (13)$$

Или матрица этого преобразования имеет вид:

$$\begin{pmatrix} w_{nl} \\ w_{nl}' \\ w_{nl}'' \\ w_{nl}''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \\ K_{31} & K_{32} \\ K_{41} & K_{42} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} |w_0| \\ |w_0'| \\ |w_0''| \\ |w_0'''| \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_{01} \\ K_{02} \\ K_{03} \\ K_{04} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Граничные условия для конца последнего участка равны:

$$\begin{vmatrix} \gamma_n & \alpha_n & D_n & 0 \\ -\beta_n & (p-\gamma_n) & 0 & D_n \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} w_{nl} \\ w_{nl}' \\ w_{nl}'' \\ w_{nl}''' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}, \quad (15)$$

где  $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n$  – коэффициенты жесткости упругих связей для верхнего края оболочки. Подставляя преобразования (14) в (15), получаем два линейных алгебраических уравнения относительно начальных параметров  $w_0$  и  $w_0'$ . При обратном ходе вычисляем усилия в каждой из оболочек по формулам (7).

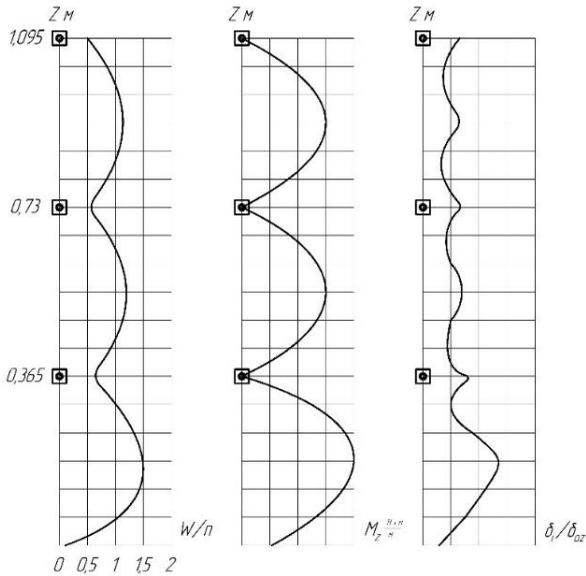


Рис. 2. Результаты расчета ( $H = 8$  м,  $D = 10$  м)

Данная методика была применена для расчета спирально-навивной оболочки силоса емкости 600т ( $H = 8$  м,  $D = 10$  м). Результаты расчета для нижних трех обечаек представлены на рис. 2.

### Библиографический список

1. Методы расчета тонколистовых силосов спирально-навивного типа / И.Е. Милейковский, Н.Н. Столыпин, Б.Н. Скотников, Г.И. Соловьев. – Строительная механика и расчет сооружений. – 1985. – № 12. – С. 19-23.
2. Власов В.З. Избранные труды. – Т. 2, Тонкостенные упругие стержни. Принципы построения общей технической теории оболочек. –

М: Издательство АН СССР. – 1963. – С. 507.

3. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем – М: Гостехиздат. – 1955. – С. 475.

4. Котуранов В.Н. Методы исследования напряженно-деформированного состояния котлов железнодорожных цистерн: Автореф. дисс... д-ра техн. наук. – М.– 1973. – С. 46.

5. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Успехи математических наук. – 1961. – Т. XVI. Вып. 3 (99). – С. 171-174.

6. Расчетные модели фальцевого ребра спирально-навивной цилиндрической оболочки/ И.Е. Милейковский, А.В. Ахтямов. - Исследования по расчету строительных конструкций и надежности сооружений. ЦНИИСК им. Кучеренко.М.,1987-239с.

## **МЕТОДИКА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ СВАРНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Водяхин Н.В., ассисент,**

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

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

В рамках исследования работоспособности, несущей способности и деформативности комбинированных болтосварных соединений строительных металлоконструкций возникла необходимость количественной оценки эффективности совместной работы разнодеформативных связей в виде болтов и угловых сварных швов в одном соединении, используемых как рабочие (расчетные).

Комбинированные соединения, о которых речь идет выше, имеют конструктивные решения, показанные на рис. 1, и получены в результате усиления под нагрузкой болтового соединения класса точности В на обычных непреднапряженных болтах.

Основные результаты экспериментального исследования образцов ранее были изложены в [2-4]. При анализе и интерпретации опытных данных, особенно в части оценки влияния большей деформативности болтовых связей на их совместную работу со сварными швами по восприятию возрастающей нагрузки на усиленное (комбинированное) соединение, потребовалось выделить и количественно оценить долю этой

нагрузки, приходящейся на болты.

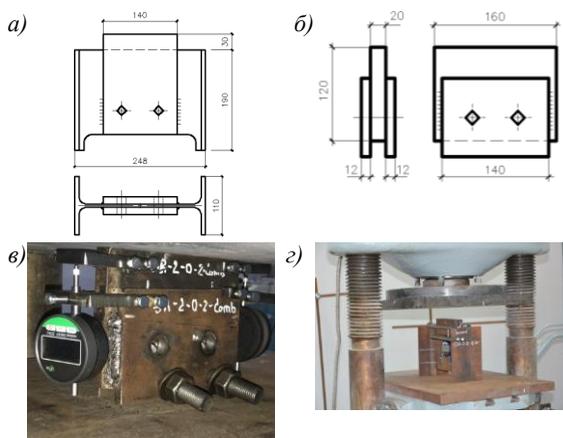


Рис. 1. Конструктивное решение и фото испытанных образцов:  
*а, б* – конструкция и основные размеры опытных образцов; *в, з* – фото  
опытных образцов в ходе испытаний

Всего было испытано восемнадцать образцов, по шесть болтовых, сварных и комбинированных болтосварных. Образцы были разделены на две группы по критерию предельного состояния в усиливаемом болтовом соединении: по срезу болта (SR); по смятию кромки отверстия телом болта (SM). В настоящей статье не рассматриваются данные шести образцов болтового соединения, из восемнадцати, так как в них отсутствуют сварные швы.

Однотипные образцы были изготовлены и испытаны в количестве: SR-W – 3 шт.; SM-W – 3 шт.; SR-Comb60 – 3 шт.; SM-Comb60 – 3 шт. Номинальные значения катетов и длин сварных швов были равны: у образцов SR – 6 и 55 мм, у образцов SM – 4 и 50 мм, соответственно.

При анализе результатов испытаний, суть возникшей задачи заключалась в том, что фактические геометрические параметры (ширина, длина и площадь поверхности среза) угловых сварных швов имели некоторый разброс относительно номинальных значений, что естественно, отразилось также и на величинах фактических (разрушающих) нагрузок образцов сварных и комбинированных соединений, и на результатах анализа.

Разброс значений вполне объясним, так как в процессе заводского изготовления стальных конструкций в сварных швах, выполняемых ручной или полуавтоматической сваркой сварщиками даже высокой квалификации, практически невозможно обеспечить точное соответствие катета и длины швов их значениям в соответствии с чертежами КМД. В

условиях заводского контроля качества эта проблема легко решается путем применения простого критерия «не меньше проектного» с учетом ограничения величины минусового допуска.

Учет влияния отклонений параметров сварных швов на корректность интерпретации экспериментальных данных является не единственной методической проблемой при их анализе. В работе [5], например, авторы пришли к выводу о необходимости учитывать при численном моделировании сварных образцов разные прочностные и деформативные свойства основного металла, металла зон термического влияния, металла границ сплавления в сечении сварного шва и, собственно, металла шва. Для этого им потребовалось проводить специальные исследования и определять диапазон количественных изменений значений соответствующих показателей прочности и деформативности.

Контроль геометрических параметров сварных швов опытных образцов специальными шаблонами и линейками с ценой деления 1 мм оказывается недостаточным, с точки зрения необходимой точности измерения, для анализа экспериментальных данных после испытания образцов, т.к. это может заметно отразиться на результатах их оценки.

Сварные швы выполняли ручной сваркой, электроды УОНИ-13/55 (Э50А), Ø2 мм. Для обеспечения требуемых параметров и качества швов предварительно подбирали силу сварочного тока путем наложения пробных швов. Для контроля глубины проплавления в шести пробных швах делали поперечный разрез с измерением размеров, соответствующих ширине площади среза по металлу шва  $-k_f \cdot \beta_f$ . Кроме того, измеряли отклонения длины и катета сварных швов от номинальных значений. Измерения производили штангенциркулем ШЦ-1 с величиной значения отсчета по нониусу равной 0,05 мм.

Контроль параметров сварных швов показал следующее.

Ширина площади среза по металлу шва соответствовала в среднем величине коэффициента  $\beta_f$ , учитывающего глубину проплавления, 0,95, при его величине по СП [1] – 0,7. Это, очевидно, объясняется тем, что при диаметре электрода 2 мм для получения нужных катетов 4 и, особенно, 6 мм сварку производили с невысокой скоростью. Это обеспечивало хороший прогрев зоны формирования валика шва и хорошую глубину проплавления.

Отклонение швов по геометрической длине имело место в большую сторону как для образцов группы SR, так и группы SM.

Максимальное превышение размера  $l_w$  зафиксировано в образце марки SM-W и составило +0,57 см. Среднее отклонение по длине сварных швов, найденное по 12 швам трех образцов одной марки составило: марки SR-W – +0,35 см; марки SR-Comb60 и марки SM-W – +0,5 см; марки SM-

Comb60 – +0,45 см.

Отклонение по величине катета сварного шва также были в большую сторону, максимальное было отмечено в образце марки SR-Comb60 и составляло 0,70 мм. При этом, в образцах разных марок значения отклонений в величине  $k_f$  несколько отличались. Так, для марки SR-W среднее значение  $\Delta k_f$  для трех образцов оказалось равным +0,40 мм, для марки SR-Comb60 – +0,60 мм, для марки SM-W – +0,55 мм, для SM-Comb60 – +0,45 мм.

Отметим, что в соответствии с ГОСТ 14771-76 при катетах до 5 мм включительно отклонение допустимо в интервале от +1,0 мм до -0,5 мм.

По результатам испытаний было установлено, что фактическая величина разрушающей нагрузки в каждой тройке образцов одной марки также имела разброс относительно среднего значения: от -2,2 до +1,9% для образцов марки SR-W; от -0,9 до +0,8% - для марки SR-Comb60; от -3,8 до +3,7% для марки SM-W; от -1,7 до +1,4% - для марки SM-Comb60. Эти данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Расчетные и экспериментальные значения разрушающей нагрузки опытных образцов**

Группа образцов	Марка образца	Расчетная предельная нагрузка швов по СП, кН	Фактическая разрушающая нагрузка, кН	Отклонение от среднего значения, %
SR	SR-W-1	158,0	487,5	+0,4
	SR-W-2	158,0	475,0	-2,2
	SR-W-3	158,0	495,0	+1,9
	SR-Comb60-1	158,0	737,5	-0,9
	SR-Comb60-2	158,0	750,0	+0,8
	SR-Comb60-3	158,0	745,0	+0,1
SM	SM-W-1	103,6	337,0	+3,7
	SM-W-2	103,6	325,5	+0,1
	SM-W-3	103,6	312,5	-3,8
	SM-Comb60-3	103,6	400,0	+1,4
	SM-Comb60-2	103,6	395,5	+0,3
	SM-Comb60-3	103,6	387,5	-1,7

Для более точного учета влияния фактических геометрических параметров угловых швов на результаты анализа в каждом из испытанных до разрушения опытных образцах была измерена площадь плоской проекции поверхности среза сварных швов. Эти данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Фактические и расчетные значения площадей среза угловых швов опытных образцов**

Группа (серия) образцов	Марка образца	Площадь среза по СП, см <sup>2</sup>	Площадь среза по СП с учетом фактических отклонений, см <sup>2</sup>	Фактическая площадь отпечатков поверхности среза швов, см <sup>2</sup>					Отклонение площади от среднего значения, %	Деформации взаимного сдвига деталей, мм
				Номера швов						
				1	2	3	4	Σ		
SR	SR-W-1	7,24	11,31	2,88	3,05	3,14	3,07	12,20	-5,6/ +2,9	1,90
	SR-W-2			2,85	3,03	3,20	3,00	12,07	-5,6/ +6,0	1,78
	SR-W-3			2,87	3,14	3,06	3,21	12,28	-6,5/ +4,6	2,02
	SR-Comb60-1		12,04	3,32	3,45	3,50	3,65	13,92	-4,6/ +4,9	2,55
	SR-Comb60-2			3,52	3,38	3,13	3,37	13,40	-6,6/ +5,1	2,14
	SR-Comb60-3			3,25	3,40	3,15	3,57	13,37	-5,7/ +6,9	2,34
SM	SM-W-1	4,72	8,12	2,20	2,34	2,42	2,51	9,46	-7,2/ +5,9	1,87
	SM-W-2			2,24	2,26	2,30	2,55	9,35	-4,3/ +8,9	1,73
	SM-W-3			2,13	2,29	2,50	2,37	9,19	-7,4/ +8,7	1,94
	SM-Comb60-1		7,86	2,23	2,32	2,07	2,05	8,67	-5,5/ +6,9	3,44
	SM-Comb60-2			2,03	2,11	2,30	2,15	8,58	-5,1/ +7,5	3,54
	SM-Comb60-3			2,01	1,98	2,27	2,05	8,31	-4,8/ +9,1	3,71

Так как, при испытаниях разрушение сварных швов проходило по металлу шва, то для сопоставления фактических значений площади среза с расчетной величиной по СП [1], была вычислена ее проектная величина: для образцов группы SR – 7,24 см<sup>2</sup>; группы SM – 4,72 см<sup>2</sup>. Эти данные

приведены в таблице 2. С учетом средних фактических значений  $\beta_f$ ,  $k_f$  и  $l_w$  расчетная величина площади среза может быть оценена величиной 10,80 и 7,17 см<sup>2</sup>, соответственно. В таблице также даны деформации взаимного сдвига соединяемых деталей опытных образцов, соответствующие началу их разрушения.

Данные о величине фактической площади плоской проекции поверхности среза швов по металлу шва получали следующим образом. Для всех поверхностей среза швов после их разрушения были получены их плоские отпечатки и сфотографированы. Вычисление фактической площади производили посредством программы AreaS. Она позволяет определять площадь плоской фигуры произвольной формы. Для получения плоского отпечатка поверхности среза ее покрывали краской и прикладывали к цветному бумажному листу с выделенным на нем прямоугольником известной площади (в масштабе 1:1). Затем скан цветного листа с изображением отпечатка загружали в программу с указанием площади выделенного прямоугольника. Программа AreaS вычисляла площади фигур разного цвета и выделяла величину площади отпечатка.

На рис. 2, в качестве примера, приведено изображение плоской проекции поверхности среза одного из швов образца группы SR-W при определении величины его площади.

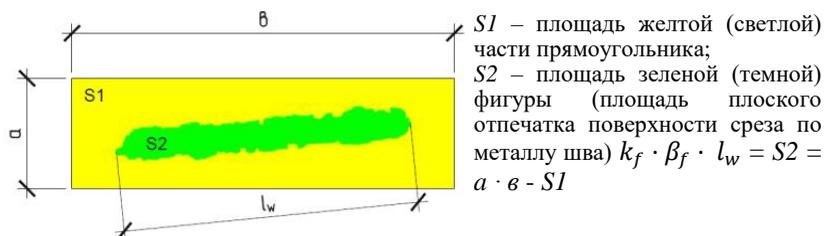


Рис. 2 Определение фактической площади плоской проекции поверхности отпечатка поверхности среза по металлу шва с помощью его фотографии

С учетом данных табл. 1 и 2 были найдены доли (части) фактической нагрузки для каждого образца комбинированного соединения, воспринимаемые отдельно болтовыми связями и связями в виде сварных швов усиления, при разрушающей экспериментальной нагрузке. Эти данные приведены в табл. 3.

При определении доли усилия, приходящегося на болтовые связи в болтосварном соединении, исходили из того, что несущая способность сварных швов, как у более жесткого вида связей, в момент разрушения образца использовалась полностью (эффективность 100%), а болтовых

связей, с учетом их большей деформативности, не полностью (эффективность менее 100%).

Принимая во внимание, сказанное выше, для каждого образца болтосварного соединения от величины экспериментальной разрушающей нагрузки вычитали величину разрушающего усилия в сварном шве. Последнее находили как произведение фактической площади среза по металлу шва четырех швов образца на величину разрушающего усилия, приходящуюся на 1 см<sup>2</sup> фактической площади среза сварного шва, найденную по размерам плоской проекции отпечатков поверхности среза четырех швов данного образца. Отпечатки получали после испытаний каждого образца. Усилие, приходящееся на 1 см<sup>2</sup> площади среза сварного шва, находили по фактическим разрушающим нагрузкам образцов групп SR-W и SM-W.

Таблица 3

**Распределение разрушающей нагрузки на связи разного вида в комбинированном болтосварном соединении**

Группа образцов	Марка образца	Экспериментальная разрушающая нагрузка на комбинированный образец, кН	Фактическая площадь среза сварных швов образца, см <sup>2</sup>	Усилие, приходящееся на 1 см <sup>2</sup> площади среза сварного шва при разрушении, кН/см <sup>2</sup>	Доля усилия, приходящаяся на связи одного вида	
					на сварные швы, кН	на болты, кН
SR	SR-Comb60-1	737,5	13,92	39,96	556,2	181,3
	SR-Comb60-2	750,0	13,40	39,35	527,3	222,7
	SR-Comb60-3	745,0	13,37	40,31	538,9	206,1
SM	SM-Comb60-3	400,0	8,67	35,62	308,8	91,2
	SM-Comb60-2	395,0	8,58	34,81	298,7	96,3
	SM-Comb60-3	387,5	8,31	33,94	282,0	105,5

Разность, найденная в результате описанного выше действия вычитания, рассматривали как долю (часть) разрушающей нагрузки образца болтосварного соединения, воспринимаемую болтовыми связями в момент разрушения образца. По величине этой доли можно судить об эффективности усиления под нагрузкой болтового соединения путем наложения сварных швов и об эффективности работы болтовых связей в болтосварном соединении.

Показатель эффективности усиления болтового соединения в целом может быть получен как частное от деления фактической разрушающей

нагрузки комбинированного образца на сумму разрушающих усилий связей в виде болтов и угловых швов при полном (100%) использовании их фактической несущей способности. Показатель эффективности работы болтовых связей в комбинированном соединении может быть найден как отношение доли усилия, воспринимаемой болтами в момент разрушения, на их экспериментальную несущую способность, найденную при испытании образцов болтового соединения, с учетом реализуемого в образцах критерия разрушения – срез болта или смятие кромки отверстия.

В заключение можно отметить, что нормативная методика расчета комбинированных болтосварных соединений на обычных непреднапряженных болтах на данный момент отсутствует, «применение комбинированных болтосварных соединений без контролируемого натяжения болтов, а также использование срезных соединений, не допускается» [1]. Однако, полученные результаты свидетельствуют о возможности совместной работы разнодеформативных связей в виде болтов обычной прочности и сварных швов, а предложенная методика позволяет оценить долю усилия, приходящегося на связи одного вида в комбинированных соединениях, полученных путем усиления угловыми фланговыми сварными швами болтовых соединений.

### **Библиографический список**

1. СП 16.13330.2017. Актуализированная редакция «СНиП II-23 -81\*. Стальные конструкции». – М., 2017.
2. Солодов Н.В. Напряженно-деформированное состояние при реализации смятия и сдвига в болтосварном соединении / Н.В. Солодов, Н.В. Водяхин, В.В. Кочерженко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2022. - № 12. - С.18-27.
3. Солодов, Н. В. Комбинированные соединения строительных металлоконструкций: условия и факторы их работы и деформативности / Н. В. Солодов, Н. В. Водяхин // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2023. - № 3 (71). - С. 11-21. - DOI 10.36622/VSTU.2023.3.71.001.
4. Солодов Н.В. Экспериментальное исследование прочности и деформативности болтовых соединений, усиленных сварными швами под нагрузкой / Н.В. Солодов, Н.В. Водяхин // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». - 2023. - № 5. - С. 1–15.
5. Ngo D. Le Anh. Finite Element Modelling of a High Strength Steel Tee Joint. Bachelor's thesis. Degree Program in Construction Engineering. Name University of Applied Sciences. Retrieved on the 06th of January 2021 from: Theseus. 83 p.

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

**Дрокин С.В.**, канд. техн. наук, доц.,

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

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

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

В 70-80-е гг. XX в. началось активное применение в гражданском строительстве строительных конструкций из ячеистого бетона. В основном при строительстве жилых зданий применялись наружные ячеистобетонные панели, обладающие значительно лучшими теплозащитными свойствами, чем панели из керамзитобетона и трехслойные из железобетона [2]. Так же в это время начался выпуск панелей перекрытия из ячеистого бетона, которые использовались в основном для чердачных перекрытий зданий с холодным чердаком. Помимо высоких теплотехнических свойств строительные конструкции из ячеистого бетона имеют относительно небольшую массу, что позволяет значительно снизить нагрузки на нижележащие конструкции и фундаменты [5].

Как показали многочисленные исследования крупноразмерных конструкций из ячеистого бетона, уровень влажности в процессе длительной эксплуатации (до 45 лет) сохраняется ниже нормативного [3]. Соответственно, теплотехнические их теплотехнические свойства остаются на проектном уровне.

На основании многочисленных натуральных обследований стеновых панелей из автоклавного ячеистого бетона установлено, что во время эксплуатации на их поверхностях возникают усадочные трещины от воздействия влагообменных и карбонизационных процессов [4, 6], которые незначительно сказываются на несущей способности панелей.

Установлено, что вследствие карбонизации автоклавного ячеистого бетона при воздействии углекислого газа, существенно повышается его ползучесть [1], что особенно сильно сказывается на прогибах изгибаемых элементов. При этом анализ дефектов и повреждений панелей перекрытий из ячеистого бетона практически отсутствует.

Согласно типовой проектной документации плиты (панели) перекрытий изготавливались в виде однопролетных балочных плит пролетом до 6,0 м, работающих в одном направлении (для их взаимозаменяемости с железобетонными многопустотными плитами перекрытий). Для изготовления данных конструкций в основном применялся ячеистый бетон классов по прочности на сжатие от  $B2,5$  до  $B7,5$  и марок по плотности от  $D500$  до  $D700$ .

По результатам обследования сплошных ячеистобетонных плит чердачного перекрытия многоэтажного общежития было установлено, что данные плиты пролетом 6,0 м и шириной 1,5 м выполнены по серии 1.143-4 выпуск 1. Плиты армированы продольной рабочей арматурой 12Ø12 АП, марка плит – ПК4,5-60.15.22, т.е. они запроектированы под нормативную временную нагрузку 450 кг/м<sup>2</sup> (без учета собственного веса). Так же было установлено, что бетон ячеистобетонных плит соответствует классу по прочности при сжатии В7,5. Плиты имеют по нижней поверхности трещины шириной раскрытия до 0,2 мм. На плиты действует нагрузка только от собственного веса, при этом их прогиб достигает 20 мм, что ниже нормативного значения (предельный прогиб от постоянных и временных длительных нагрузок согласно СП 20.13330. равен 30 мм). Выполненный теплотехнический расчет показал, что сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия ниже значений, установленных действующими нормативными документами.

Иногда ячеистобетонные плиты использовались для чердачных перекрытий малоэтажных зданий, при этом на них могли опираться элементы стропильной системы.

Чердачное перекрытие одноэтажного здания школы выполнено из сборных сплошных плит толщиной 250 мм из ячеистого бетона класса по прочности на сжатие В3,5. В ходе проведения обследования, что почти все плиты имеют многочисленные нормальные, косые, продольные трещины шириной раскрытия до 0,3 мм, при этом косые трещины расположены на нижней поверхности (со стороны помещений) у опор.

Большинство трещин на верхней поверхности плит покрытия, а также часть трещин на нижней поверхности имеет усадочное происхождение. Однако на нижней поверхности плит, имеющих значительный прогиб, наблюдается значительно количество силовых трещин шириной раскрытия до 0,3 мм. Также были выявлены косые трещины у опор, появившиеся, наиболее вероятно, вследствие возникновения в панелях изгиба с кручением, вызванного неравномерными деформациями в зонах их опирания на соседние стеновые панели и возможной разностью отметок их верха, не компенсированных толщиной шва раствора при монтаже.

Отельные плиты, на которые опираются элементы деревянной стропильной системы крыши, имеют прогиб до 7,0 см при пролете в осях 6,0 м (рис. 1), при предельно допустимом прогибе от постоянных и временных длительных нагрузок 30 мм (согласно СП20). На момент проведения обследования снеговая нагрузка на кровлю практически отсутствовала, т.е. наблюдаемый прогиб возник только от действия постоянных нагрузок от собственного веса плит, конструкций деревянной стропильной системы и кровли из асбестоцементных волнистых листов. Наличие усадочных, деформационных и силовых

трещин, а также значительно более низкий модуль упругости и повышенная ползучесть ячеистого бетона по сравнению с тяжелым бетоном значительно снижают жесткость плит чердачного перекрытия и приводят к более значительным прогибам. Прогиб панелей перекрытия, достигающий  $1/85$  пролета, свидетельствует о близком исчерпании их несущей способности.



Рис. 1. Прогибы ячеистобетонной панели перекрытия

Сопrotивление теплопередаче данного чердачного перекрытия из ячеистобетонных панелей толщиной 250 мм не удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

С учетом вышесказанного, в эксплуатируемых зданиях дополнительное нагружение ячеистобетонных панелей помимо нагрузки собственного веса может привести к значительному увеличению их прогибов. Это связано с тем, что ячеистые бетоны имеют значительно более низкий модуль упругости и повышенную ползучесть по сравнению с тяжелым бетоном. Перекрытия большинства зданий из ячеистобетонных плит не удовлетворяют требованиям современных норм по тепловой защите зданий, поэтому при проведении капитального ремонта необходимо выполнить их утепление.

### Библиографический список

1. Газиев М.А., Батаев Д.К.-С., Мажиев Х.Н. Влияние карбонизации на ползучесть мелкозернистых ячеистых бетонов. // Труды ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный. – 2013. – Вып. 12, 13. – С. 88-93.
2. Кацынель Р.Б. Особенности применения крупнопанельных ячеистобетонных конструкций в современном строительстве / Жилищное строительство. 2010. № 8. С. 24-28.
3. Сальников В.Б., Беляков В.А. Инженерная безопасность эксплуатации жилых зданий со стеновыми панелями из автоклавного

газобетона / Технологии гражданской безопасности. 2011. Т. 8. № 3 (29). С. 84-87.

4. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.

5. Сулейманова Л.А. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов / Сулейманова Л.А., Коломацкий А.С., Погорелова И.А., Марушко М.В. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 34-42.

6. Прогнозирование полного и остаточного ресурсов ограждающих конструкций из ячеистого бетона. Чернышов Е.М., Власов В.В., Баутина Е.В. Ростов-на-Дону, 2007.

## **ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ**

**Зубкова М.Н., магистрант,  
Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Грунтовые анкеры давно зарекомендовали себя как надежный способ обеспечения устойчивости сооружений [1]. Однако их эффективность и конкурентоспособность зависят от нескольких факторов, включая несущую способность, расход материалов, используемые механизмы, технико-экономические показатели и т.д. В данной статье рассмотрены ключевые параметры, которые определяют успешность технологии устройства грунтовых анкеров.

Несущая способность грунтового анкера – это один из самых важных критериев, определяющих его эффективность. Она зависит от нескольких факторов, таких как:

– тип грунта. В различных типах грунтов анкеры могут иметь совершенно разную несущую способность. Например, в глинистых почвах анкеры могут быть менее эффективными, чем в песчаных или щебнистых;

– длина анкера. Увеличение длины анкера обычно приводит к росту его несущей способности, но в то же время увеличивает затраты на материалы и работы;

– угол установки анкера. Угол, под которым устанавливается анкера, также влияет на несущую способность и стабилизацию конструкций [2].

Специалисты проводят комплексные расчеты для определения оптимальных параметров анкеров, что позволяет достичь максимальной несущей способности.

Экономия материалов – один из ключевых факторов, который может значительно повлиять на конкурентоспособность технологии. Снижение расхода материалов напрямую связано с:

- оптимизацией дизайна анкеров. Разработка математических моделей может помочь минимизировать объем используемых материалов при поддержании необходимой несущей способности. Это особенно важно при использовании дорогих или специализированных материалов;

- использованием новых стальных сплавов. Применение современных качественных материалов может повысить прочность анкеров и снизить их вес, что в значительной степени сокращает расход ресурсов.

Понимание и контроль всех аспектов расхода материалов позволяет значительно снизить затраты без ущерба для качества.

Механизмы, применяемые для установки анкерных систем, также играют важную роль в общей эффективности технологии [3]. К ним можно отнести:

- надежные буровые установки. Оборудование, способное осуществлять установку анкеров в различных типах грунта, снижает временные затраты и увеличивает производительность [4];

- системы контроля. Внедрение современных систем контроля и мониторинга установки может повысить точность работы и снизить количество ошибок, что также положительно сказывается на конечном результате.

Оптимизация технологических процессов при использовании высокопроизводительных механизмов позволяет значительно сократить время выполнения работ и увеличить общую эффективность.

Для оценки конкурентоспособности технологии устройства грунтовых анкеров необходимо учитывать ряд технико-экономических показателей:

- себестоимость работ. Важно рассматривать, насколько затраты на установку анкеров соотносятся с их эффективностью и качеством;

- сроки реализации проекта: Скорость выполнения работ имеет большое значение, особенно в условиях жесткого графика;

- безопасность и надежность. Оценка риска, связанного с использованием грунтовых анкеров, а также их эксплуатационных характеристик также представляют собой важные аспекты.

В наше время одним из важнейших является экологический аспект, так как выбор технологии может существенно повлиять на окружающую среду:

– геосистемы и экосистемы. При использовании традиционных технологий устройства анкеров, таких как бурение, существует риск нарушения структуры грунта и экосистемы [5]. В частности, может происходить ухудшение физико-географических характеристик почвы, что негативно сказывается на растительности и живых организмах, обитающих в этой местности;

– шум и вибрация. Технологии, требующие значительных механических усилий (например, механическое вдавливание), могут создавать высокий уровень шума и вибрации, что влияет на местные экосистемы и может приводить к стрессу у животных и нарушению их привычной жизнедеятельности;

– загрязнение. Некоторые технологии включают применение химических веществ для стабилизации грунта или для улучшения адгезии анкеров. Эти вещества могут негативно повлиять на качество грунтовых и поверхностных вод, вызывая их загрязнение и отрицательно влияя на здоровье местной флоры и фауны;

– энергетические затраты. Разные технологии устройства анкеров требуют различных объемов энергии. Применение менее энергоемких методов может минимизировать углеродный след, что особенно важно в условиях глобальных изменений климата. С другой стороны, технологии, зависящие от большого количества энергии, могут способствовать увеличению загрязнения атмосферы;

– устойчивое развитие. В последние годы все большее внимание уделяется выбору технологий, которые способствуют экологической устойчивости. Например, использование методов, основанных на возможностях самозадвижения или других современных подходов, может привести к уменьшению негативного влияния на окружающую среду и более гармоничному сосуществованию строительного процесса с природой.

Правильное понимание и контроль этих параметров позволяют не только повысить качество и надежность объектов, но и значительно снизить затраты, что является важным условием для успешной деятельности в строительной отрасли. Эффективность и конкурентоспособность технологии устройства грунтовых анкерных систем зависят от множества взаимосвязанных факторов. Оценка несущей способности, оптимизация расходов материалов, использование современных механизмов и анализ ТЭП позволяют сформировать комплексное представление о технологическом процессе. Точные и надежные методы оценки позволяют не только повысить безопасность и устойчивость конструкций, но и улучшить экономические показатели при их реализации. Значимость данных критериев будет возрастать в условиях постоянного прогресса в строительных технологиях и материаловедении.

### **Библиографический список**

1. Кочерженко В.В., Сулейманов А.Г. Устойчивость армированных грунтов в отвалах, насыпях и подпорных стенах // В сборнике: Научно-технические инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 51-59.
2. Осмачкин А. Применение грунтовых анкеров для укрепления строительных конструкций // Инженерная защита. 2014. № 5. С. 68–75.
3. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А. Увеличение устойчивости стенок траншей, заполненных глинистым раствором, при возведении зданий и сооружений вблизи существующих зданий // В сборнике: Безопасность строительного фонда России проблемы и решения. материалы Международных академических чтений. 2019. С. 69-75.
4. Вахрушева Г.В., Кучукбаева К.А., Калошина С.В. Технологии устройства грунтовых анкеров. // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. С.166-173.
5. Аванесов В.С. Взаимодействие анкеров с окружающим грунтом и ограждающей конструкцией с учетом их линейных, нелинейных и реологических свойств // дис. канд. техн. наук. М., 2015.122 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ СТАЛЬНОГО КАРКАСА С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Кириллова Е.А. магистрант,  
Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В настоящее время многочисленными исследованиями установлено, что при надлежащей архитектурной компоновке высотного здания можно обеспечить требуемую жесткость каркаса. Возможна организация обширных свободных пространств различного назначения во внутреннем объеме здания, а также широких сквозных проемов [1]. Предлагаемый подход допускает использование неограниченного разнообразия объемно-планировочных и конструктивных решений. Их конкретный выбор и обоснование являются преимуществом архитекторов и конструкторов [4-6].

Основным вопросом является снижение объема рутинных трудозатратных операций, требующих повышенной точности подгонки и специальных операций по подготовке поверхностей в сдвигустойчивых соединениях. В таком случае исследуются особенности работы стального

каркаса, включающего криволинейные элементы (С-элементы).

В работах [1-3] рассмотрено применения криволинейных несущих элементов в высотных конструктивных системах зданий и сооружений. Основным преимуществом является снижение объема трудозатрат, требующих повышенной точности подгонки и специальных операций по подготовке поверхностей в сдвигоустойчивых соединениях.

В отличие от работы [1], была изменена высота каркаса здания, для большей жесткости добавлены связи в этажах под С-элементами, а также для более простого монтажа все конструктивные элементы приняты сплошного сечения.

В работе был проведен расчет многоэтажного стального каркаса здания, включающего в себя С-элементы (рис. 1). Пролет здания – 36 м, глубина – 24 м, высота –  $H = 128$  м (32 этажа), шаг колонн – 6 м в обоих направлениях. Расчет каркаса проводился в ПК ЛИРА САПР. Колонны, балки в обоих направления, связи и С-элементы были смоделированы стержневыми элементами (10 тип КЭ), плиты перекрытия были смоделированы пластинами (42 тип КЭ).

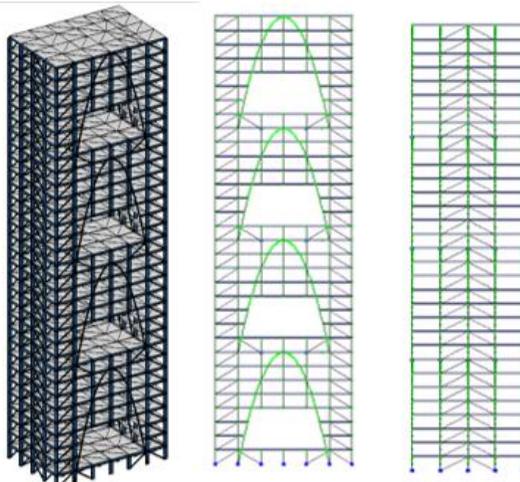


Рис. 1. Пространственная модель 32-этажного здания с устройством С-элементов ( $H = 128$  м)

Средняя величина постоянной ( $D$ ) вертикальной нагрузки на плиты перекрытия составляет  $4 \text{ кН/м}^2$ . Она включает в себе вес людей и перегородки. Нагрузка от ветра ( $V$ ) действует слева направо и, учитывая динамическую (пульсационную) составляющую, приближенно принята трапециoidalной:  $3,84 \text{ кН/м}$  на уровне поверхности земли и  $5,01 \text{ кН/м}$  на

высоте 128 м (слева) и 2,46 и 3,65 кН/м соответственно на противоположной стороне (справа). Рассматриваются комбинации нагрузок [D] и [D + V].

В расчетной схеме все С-элементы и связи приняты в виде стальной трубы 351×16 мм, колонны приняты из сплошного двутавра 80Ш1, балки над этажами с С-элементами приняты из двутавра 70Ш1, все остальные из двутавра сечением 60Ш1.

Опираие колонн на фундаменты – жесткое защемление. Опираие балок на колонны и арки – шарнирное.

Для сравнительного анализа предложенной конструктивной системы был рассмотрен аналогичный каркас здания без С-элементов. Сечение всех элементов было принято такое же, как и в каркасе с С-элементами.

Из результатов расчета МКЭ для нескольких вариантов каркаса в ПК ЛИРА-САПР, во-первых, следует, что все элементы рам обладают достаточной несущей способностью.

Однако в отношении деформативности и устойчивости каркасной системы в целом как единого объекта результаты анализа существенно различаются.

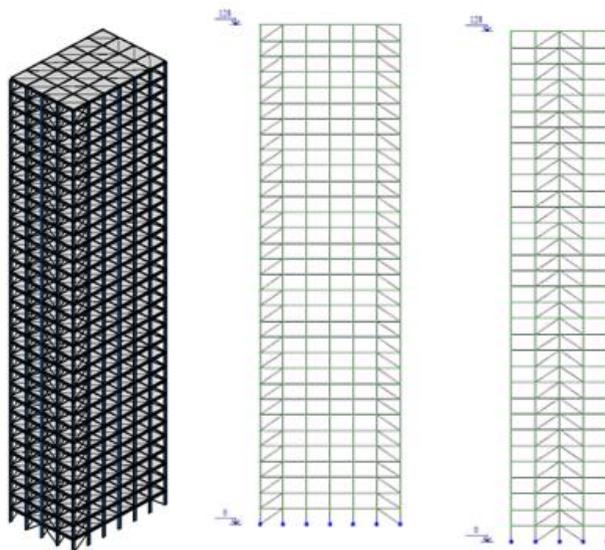


Рис. 2. Пространственная модель без устройства С-элементов

Результаты перемещений приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Горизонтальные перемещения (мм) от ветра для рассматриваемых конструктивных схем

№	Тип схемы	Комбинации	Перемещения, мм		
			X	Y	Z
1	Без С-элементов	D	0,03	0,036	6,36
2		D+V	75,2	0,128	7,45
3		0.9D+0.5V	75,2	1,85	53,9
1	С С-элементами	D	7,16	1,89	42,4
2		D+V	7,16	1,1	1,45
3		0.9D+0.5V	12,3	2,26	67,4

Стальные каркасы были рассчитаны на устойчивость по РСН. По результатам расчета была показана первая форма потери устойчивости каркасов (рис. 3). Вводя рассмотренные выше С-элементы в структуру каркаса соответствующим образом, можно обеспечить устойчивость каркаса в целом. Различные факторы, такие как условия использования земли, могут определять сетку размещения колонн. Большие пролеты могут потребоваться для обхода препятствий под или над землей. В общем случае сеть опорных конструкций с большим шагом размещения привлекательна, поскольку при этом уменьшается число фундаментов и упрощаются конструкции основания [8]. Однако при этом возникает целый ряд проблем, например, связанных с возможной осадкой фундаментов. Стальное каркасное здание по весу составляет 60 % от веса аналогичного железобетонного здания, что приводит к меньшим размерам фундаментов и соответствующему снижению затрат [7].

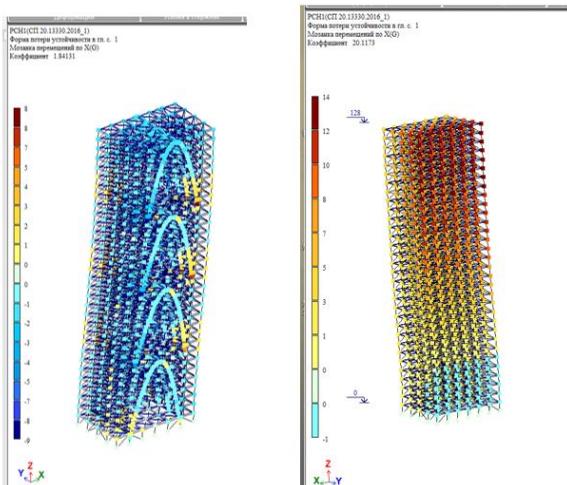


Рис. 3. Деформированные схемы здания в двух вариантах при расчете на устойчивость от РСН (1-я форма потери устойчивости)

Представленные и проанализированные результаты показывают следующее:

Величины горизонтальных перемещений в каркасе с С-элементами превышают перемещения в каркасе без С-элементов, однако они находятся в допустимых пределах и составляют 1/445 и 1/356 соответственно для каркаса без и с С-элементами, что меньше предельно допустимого прогиба 1/250.

По сравнению с каркасом без С-элементов в каркасе с С-элементами имеется больший запас устойчивости, перемещений по оси Х в каркасе с С-элементами составило 12,3 мм, что 6,1 раза меньше, чем в каркасе без С-элементов. Фактор устойчивости в каркасе с С-элементами составил 1,84, а в каркасе без С-элементов 20,12.

Таким образом, вводя С-элементы в структуру каркаса можно обеспечить устойчивость каркаса и сформировать большепролетные проемы и обширные свободные внутренние пространства, и создавать оригинальные архитектурные решения.

#### **Библиографический список**

Ибрагимов А.М., Данилов А.И. Криволинейные формы в архитектуре пространственных каркасов многоэтажных зданий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2020. - №1(13). – С. 27-35.

Туснин А.Р. Стальной каркас малоэтажного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 18-22.

Туснина О.А. Конструктивные решения узлов стального каркаса для малоэтажных жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 23-27.

Aminmansour A., Moon K. Integrated design and construction of tall buildings // Journal of Architectural Engineering. 2010. № 16(2). P. 47-53.

Уткина В.Н., Безрукова Е.С. Исследование устойчивости конструктивной системы высотного общественного здания в программных комплексах ЛИРА-САПР и STARKES // ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. Архитектура и строительство. 2020. № 3(6). С. 69-73.

Kalinina O., Valebnikova O. Human capital management as innovation technologies for municipal organization // Advances in Intelligent System and Computing. 2018. Vol. 692. P. 1315-1322.

Практическое руководство ВКСА по монтажу многоэтажных зданий. Британская ассоциация стального строительства. Публикация ВКСА № 42/06. С. 56.

8. Кочерженко В.В. Технология и организация возведения высотных зданий и сооружений: учебн. пособ. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. 148 с.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВ

**Крутикова М.А., аспирант**  
*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

**Серых В.Д., студент**  
*Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия*

Мосты являются важными инженерными сооружениями, которые обеспечивают транспортные связи между различными регионами. Их живучесть (или устойчивость к внешним воздействиям и долговечность) является критически важным показателем для обеспечения безопасности и эффективного функционирования транспортной инфраструктуры. В последнее время как в России, так и за рубежом все чаще происходят аварии, связанные с мостами, что приводит к серьезным экономическим потерям и человеческим жертвам. Поэтому проблема обеспечения их безопасности становится особенно острой и актуальной [1, 2].

Например, 26 марта 2024 г. в одну из опор моста Фрэнсиса Скотта Ки врезался контейнеровоз «MV Dali». После столкновения основные пролеты моста были полностью разрушены, а обломки заблокировали морской порт Балтимора. Столкновение с юго-западной главной опорой привело к ее полному разрушению и, как следствие, к обрушению всего основного пролета моста. Поскольку для сохранения целостности мосту, несущими конструкциями которого являются фермы, необходимо опираться на свою общую структуру, то после обрушения южного и центрального пролетов (справа и слева от поврежденной колонны) последовало обрушение северного пролета. Вся последовательность отказов занимала секунды, и в течение 30 секунд вся центральная часть моста упала в реку. Было установлено, что мост до обрушения соответствовал нормам. Эксперты заявили, что мост имел защиту опор от столкновения, но ее оказалось недостаточно.

1 августа 2007 г. в Миннеаполисе, штат Миннесота, произошло обрушение моста автомагистрали I-35W, пересекающего реку Миссисипи. Как показало расследование, причиной этой трагедии стала ошибка в конструкции моста. Некоторые детали моста (фасонки), соединяющие стержни фермы, были изготовлены из металла недостаточной толщины и в критический момент не выдержали нагрузки.

24 мая 2008 г. в Сахалинской области произошло обрушение двух пролетов железобетонного автодорожного моста через реку Тымь. Мост был построен в 1977 г. и связывал жителей сел Чир-Унвд и Иркир с поселком Адо-Тымово. Причиной случившегося называют подмыв шестой опоры моста в результате подъема уровня воды в реке.

В статье [3] авторы О. Я. Соколова, И. И. Овчинников и А. Н. Маринин рассмотрели термины «прогрессирующее разрушение» и «живучесть», а также требования нормативной документации в части защиты от прогрессирующего разрушения. Цель их исследования была изучить запроектное поведение пролетного строения железнодорожного моста в различных ситуациях. В результате исследования они предложили варианты повышения несущей способности конструкции и ее элементов различными способами, например, путем увеличения площади сечения элементов и уменьшения расчетной длины сжатых элементов.

Анализ чрезвычайных ситуаций показывает, что самые опасные аварии и разрушения происходят от воздействий, не предусмотренных нормативной документацией. К таким событиям относятся: взрывы, пожары, провалы, наезды транспортных средств, удары судна и т.д. Это случайные, в своем роде непредсказуемые воздействия, параметры которых очень трудно определить. Их учет требует изменения расчетных схем сооружения. В противном случае на практике возможно появления прогрессирующего разрушения.

В статье [4] рассматривается актуальность вопроса о способности мостов выдерживать транспортную нагрузку, имея поврежденные элементы. Авторы приводят обзор публикаций в области развития теории живучести и выделяют методы ее повышения применительно к транспортным сооружениям.

В рамках исследования Н.М. Быкова, Т.М. Баранова и А.А. Забияка использовали численные методы и рассмотрели пролетное строение со сквозными главными фермами железнодорожного моста расчетной длиной 66 м. Установили, что положительный эффект повышения живучести при исключении из работы элементов нижних поясов и раскосов дает увеличение несущей способности нижних продольных связей и раскосов. Выявили, что наиболее опасным является исключение из работы элементов верхнего пояса фермы, а увеличение несущей способности ключевых элементов продольных связей оказывается мало эффективным.

Живучесть мостов – это свойство конструкций сохранять свою работоспособность и надежность на протяжении всего периода эксплуатации, несмотря на влияние разных факторов, включая нагрузки, погодные условия и коррозию материала. Обеспечение живучести мостов – ключевой момент в проектировании и обслуживании транспортной инфраструктуры [5].

Одним из ключевых аспектов обеспечения живучести мостов является регулярный мониторинг их состояния. Современные технологии позволяют осуществлять это с высокой точностью. Например, использование дронов, которое стало популярным

направлением для обследования мостов. Дроны могут проводить визуальные осмотры труднодоступных мест, что позволяет выявить трещины и другие повреждения на ранних стадиях.

Так в 2019 г. в Нидерландах было проведено обследование мостов с использованием дронов, что позволило сократить время осмотра на 50% и снизить затраты.

В качестве еще одного примера новых технологий можно привести интеграцию сенсоров в конструкции мостов, что позволяет отслеживать изменения в их состоянии в реальном времени: измерение деформаций, вибраций, температурных изменений и др.

Например, в Китае на мосту через реку Янцзы была установлена система мониторинга, которая способна регистрировать колебания конструкции при проезде автомобилей и заблаговременно предупреждать о возможных повреждениях.

Не следует забывать, что не менее важную роль в живучести мостов играет выбор материалов для их строительства и ремонта. Использование высокопрочных и коррозионностойких материалов может значительно продлить срок службы конструкции. Композитные материалы, такие как углеродное волокно, обладают высокой прочностью и легкостью. Их применение в ремонте мостов позволяет улучшить несущую способность без значительного увеличения массы [6]: в 2018 г. в США была проведена модернизация старого моста с использованием углеродных композитов, что позволило увеличить его срок службы на тридцать лет.

Использование антикоррозийных покрытий для металлических элементов мостов помогает защитить их от воздействия влаги и химических веществ: при строительстве моста в Скандинавии были применены специальные антикоррозийные покрытия, что позволило снизить уровень коррозии на 70% по сравнению с традиционными методами защиты.

Методы усиления несущих конструкций, такие как добавление стальных балок или использование преднапряженных систем, помогают увеличить несущую способность существующих мостов [7]: в Германии был проведен проект по усилению моста с использованием преднапряженных стальных тросов, что позволило увеличить его грузоподъемность на 50%.

Замена изношенных или поврежденных элементов моста (например, опор или настила) может значительно улучшить его состояние: в Великобритании был успешно заменен настил на старом железнодорожном мосту, что позволило восстановить его эксплуатационные характеристики без полной реконструкции.

С 2011 г. при проектировании мостов рекомендуется использовать Приложение 7 [8], согласно которому мостовые сооружения следует проверять на живучесть (проверка на прочность и устойчивость формы и

положения остальных элементов при выходе из строя отдельных конструктивных элементов) [4], что несомненно дает некоторые преимущества в работе при запроектных воздействиях.

Из выше сказанного следует, что обеспечение живучести мостов – это многогранная задача, которая требует комплексного подхода, включающего мониторинг состояния конструкций, использование современных материалов и технологий при их строительстве и ремонте. Примеры успешных проектов по обеспечению живучести мостов показывают, что применение инновационных решений может значительно повысить надежность и долговечность этих важных инженерных сооружений. В будущем необходимо продолжать развивать методы их расчета для обеспечения безопасной эксплуатации на протяжении десятилетий.

### **Библиографический список**

1. Азжеуров О.В. Совершенствование методических подходов по расчету конструктивных систем на живучесть при внезапных запроектных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 5. С. 36-39.

2. Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №4. С. 32-39.

3. Соколова О.Я., Овчинников И.И., Маринин А.Н. Моделирование прогрессирующего разрушения железнодорожного мостового сооружения // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 3. С. 75.

4. Быкова Н.М., Баранов Т.М., Забияка А.А. Повышение «живучести» железнодорожного моста с повреждением элемента фермы // Транспортные сооружения. 2024. Т. 11. № 1.

5. Герасимов О.Н., Овчинников И.Г. Состояние проблемы прогрессирующего разрушения мостов, возможные задачи и подходы к их решению // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сборник трудов Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Волгоград, 07–08 декабря 2021 года. Том Часть 1. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ), 2021. С. 42-50.

6. Degtyar A. N., Serykh I. R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V., Alimatov V.A. Direction development of the theory of survivability of building structures under sudden project impacts // Scientific-technical journal (STJ FerPI) 2021. V.5. №2. P. 21-27.

7. Быкова Н. М., Баранов Т.М., Забияка А.А. Оценка работы пролетного строения железнодорожного моста с повреждением элемента фермы // Транспортные сооружения. 2023. Т. 10. № 4.

8. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* (с Изменением № 1).

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

Наиболее распространенные инженерные методы расчета железобетонных конструкций основаны на использовании идеализированных диаграмм работы бетона, о чем уже говорилось ранее.

Использование идеализированных диаграмм (Прандтля (рис. 1) [1], трехлинейной [2]) дает достаточно неплохой результат при определении несущей способности, однако имеет недостаточную точность при оценке напряженно-деформированного состояния элемента. Поэтому применение такого вида диаграмм оправданно только в так называемых инженерных или «ручных» методах расчета.

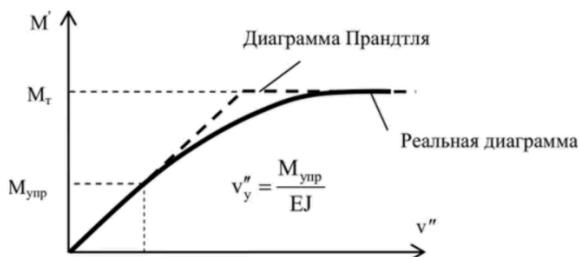


Рис. 1. Диаграмма Прандтля и реальная диаграмма

Разработка и использование полных диаграмм напрямую связано с применением ЭВМ и организации итерационного счета. Подход с использованием полных диаграмм позволяет более достоверно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкции в целом.

Однако использование такого подхода с применением классического метода сил приводит к трудностям в выборе соответствия между нагрузкой и усилиями в сечениях. Кроме того, при внешней нагрузке, превышающей несущую способность, получить достоверный результат

практически невозможно [3].

Наиболее достоверную связь между жесткостью сечения и усилиями можно получить на основе реальных диаграмм деформирования материала (рис. 2).

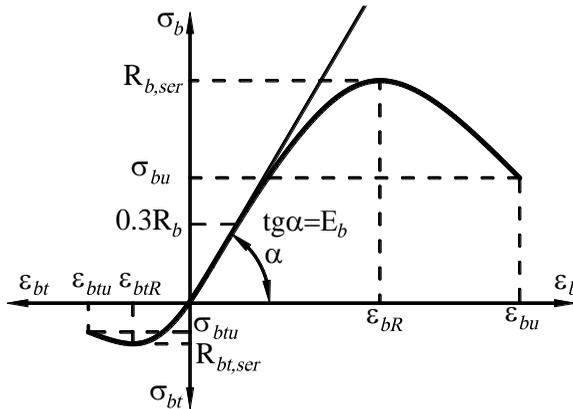


Рис. 2 Диаграмма сжатия бетона

Учет ниспадающей ветви диаграммы сжатия бетона позволяет оценивать напряженно-деформированное состояние сечений на всех стадиях работы элемента, а также получать зависимость «момент-кривизна» с ниспадающей ветвью, то есть учитывать уменьшение момента после достижения им максимального значения при увеличивающейся кривизне.

В настоящее время предложено много зависимостей для описания нелинейной связи между напряжениями и деформациями бетона. Наиболее удобной из них представляется зависимость в виде степенного полинома  $k_i$ -той степени:

$$\sigma_b = R_b \sum_{i=1}^n c_i \left( \frac{\epsilon_b}{\epsilon_{bR}} \right)^{k_i}, \quad (1)$$

где  $c_i$  – некоторые физические константы, имеющие размерность напряжений;  $k_i$  – безразмерные коэффициенты, которые могут быть любыми положительными числами (целыми, дробными).

Указанной зависимостью (подбирая численные значения  $c_i$ ,  $k_i$  и  $n$ ) можно описать с достаточной точностью практически любую экспериментальную диаграмму состояния бетона. Однако использование дробных показателей степени  $k_i$  может привести к некоторым затруднениям при разработке математического аппарата для описания напряженно-деформированного состояния сечений, а также к

усложнению алгоритма расчета на ЭВМ.

В этом случае более целесообразной представляется зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » в виде степенного полинома с целыми показателями степеней

$$\sigma_b = R_b \sum_{i=1}^n c_i \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bR}} \right)^k, \quad (2)$$

которая удобно описывается оператором цикла при расчете на ЭВМ, что позволяет без изменения текста программы использовать в расчете полиномы различных порядков. В конечном счете, такой подход позволит без изменения расчетного аппарата, оперируя только показателем степени и значениями  $c_i$  описать с достаточной точностью практически любую диаграмму состояния материала, в том числе и известные идеализированные. С этой точки зрения указанный подход весьма универсален. Кроме того, при использовании зависимости (2) из расчетного аппарата исключается ряд эмпирических коэффициентов. Остаются только коэффициенты  $c_k$ , по методике экспериментального определения которых для тяжелых бетонов накоплен достаточно большой опыт, а также существуют рекомендации по их нормированию. Этой же зависимостью описывается работа растянутого бетона до напряжений в бетоне равных  $\psi_{bt} R_{bt}$  [4].

Таким образом, растянутую зону после напряжений  $\sigma = \psi_{bt} R_{bt}$  удобно представить в виде прямоугольника с ординатами  $\psi_{bt} R_{bt}$  в зависимости от уровня нагружения

при  $\sigma_s \leq \sigma_{sy}$

$$\psi_{bt,1} = e^{\frac{1}{k_1 k_2} \times \frac{\varepsilon_{bt,u} - \varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{bt,u}} \sum_{i=1}^m \frac{n_i d_i}{h_{oi}}}; \quad (3)$$

при  $\sigma_s = \sigma_{sy}$

$$\psi_{bt,2} = \psi_{bt,1}^{(\sigma_{sy})} = const; \quad (4)$$

при  $\sigma_s > \sigma_{sy}$

$$\psi_{bt,3} = \psi_{bt,2} \frac{\varepsilon_{bt, \sigma_{sy}}}{\varepsilon_{bt}}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{bt}$  – деформации растянутой грани элемента на данном этапе нагружения;  $d_i$  – диаметр  $i$ -го арматурного стержня;  $n_i$  – количество стержней одного диаметра;  $h_{oi}$  – расстояние от центра тяжести  $i$ -го стержня до сжатой грани;  $k_1$  – количество рядов арматуры;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий профиль арматуры (для периодического

профиля  $k_2 = 1$ );  $\varepsilon_{bb}$ ,  $\sigma_{sy}$  – деформации на растянутой грани элемента в момент перехода арматуры на упрочнение;  $\varepsilon_{bt,u} = 2R_{bt}/E_b$ . Коэффициент  $\psi_{bt}$  позволяет снизить погрешность использования гипотезы плоских сечений, применяемой для описания закона распределения деформаций по высоте нормального сечения [5].

### **Библиографический список**

1. Аванесов М.П. Теория силового сопротивления железобетона/ М.П.Аванесов, В.М.Бондаренко, В.И.Римшин. – РААСН, Барнаул. – 1996.
2. Беккиев М.Ю. Расчет изгибаемых железобетонных элементов различной формы поперечного сечения с учетом нисходящей ветви деформирования/ М.Ю. Беккиев, Л.Р. Маилян. – Нальчик, 1985. – 132с.
3. Гуца Ю.П. Расчет деформаций конструкций на всех стадиях при кратковременном и длительном нагружении/ Ю.П. Гуца, Л.Л. Лемьши// Бетон и железобетон. – 1985. – №11. – С.13-16.
4. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Сущность метода и его обоснование. – М.: Стройиздат, 1949. – 278 с.
5. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 29 ноября 2018 г. № 54: дата введения 2020-01-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 22 с.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Марченко А.В., аспирант,**

**Крючков А.А., канд. техн. наук, доц.**

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

Железобетон является одним из наиболее широко используемых строительных материалов, обладающим высокой прочностью и долговечностью. Однако, для оценки его поведения под различными нагрузками необходимо учитывать сложные механизмы деформирования, такие как трещинообразование, сжимающее разрушение и взаимодействие с арматурой. Для этих целей в инженерной практике широко применяются нелинейные модели бетона, которые позволяют более точно предсказать поведение железобетонных

конструкций. В данной статье рассматриваются несколько моделей бетона, реализованных в ПК ANSYS, включая SDPL модель, модель Менетрея-Вильяма, модель, Microplane модель, MAT\_CSCM (Concrete) модель и MAT\_CONCRETE\_EC2 модель. Каждая из них имеет свои особенности и преимущества, в зависимости от условий эксплуатации и характеристик нагрузок.

Модели бетона, использующиеся в ANSYS, базируются на теории течения и включают в себя такие компоненты, как критерий текучести и параметр упрочнения. Эти модели позволяют детализированно описывать процесс пластического деформирования бетона при различных условиях нагрузок, от статических до динамических.

Для бетона обычно применяются 2-х и 3-х инвариантные критерии пластичности, которые графически изображаются в пространстве главных напряжений как поверхности, отделяющие зоны упругого и упругопластического деформирования. 3-х инвариантные критерии пластичности описывают деформирование бетона более точно [1].

Параметр упрочнения определяет, как будет изменяться размер этой поверхности в пространстве главных напряжений. Закон пластического течения определяет направление и величину пластических деформаций на каждом шаге нагружения.

Если в качестве функции пластического потенциала берется функция критерия текучести, такой закон течения называют ассоциированным, в противном случае – неассоциированным. Неассоциированный закон течения позволяет лучше описать нелинейное деформирование бетона.

Критерий текучести – условие перехода в пластичность:

$$F(\sigma, k) = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – тензор напряжений;  $k$  – параметр упрочнения, определяющий эволюцию поверхности текучести.

Закон пластической текучести:

$$\varepsilon_{pl} = \lambda \frac{\partial Q}{\partial \sigma}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – пластический множитель;  $Q$  – пластический потенциал, определяющий направление вектора пластических деформаций.

Закон упрочнения определяет, как будет изменяться поверхность текучести в зависимости от накопленных пластических деформаций.

Закон упрочнения/разупрочнения:

$$k = f(\varepsilon_{pl}) \quad (3)$$

В моделях ANSYS Mechanical и ANSYS Explicit доступно множество нелинейных моделей бетона, каждая из которых имеет свои преимущества и специфику применения.

Модель Менетрея-Вильяма использует 3-х инвариантный критерий текучести [2]. Поверхность текучести в области всестороннего сжатия не замкнута, то есть при трехосном сжатии пластические деформации в бетоне вычисляться не будут. Это нужно учитывать, если напряженное состояние в конструкции близко к всестороннему сжатию. Модель позволяет описать разупрочнение бетона при критическом деформировании и использует неассоциированный закон течения, что позволяет точнее описать свойства дилатации бетона. Кривые напряжения-деформации бетона в модели представлены на рис. 1.

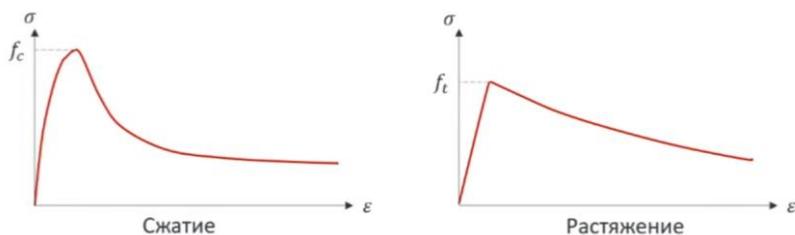


Рис. 1. Кривые напряжения деформации модели Менетрея-Вильяма

Преимуществом данной модели является то, что входные параметры для нее могут быть определены напрямую из норм по расчету и проектированию железобетонных конструкций, например, из Еврокода.

Модель Microplane использует 2-х инвариантный критерий текучести [3]. По сравнению с моделью Менетрея-Вильяма, поверхность текучести замкнута в области трехосного сжатия, и пластические деформации в этом случае будут накапливаться. Это позволяет учесть, что в действительности при сильном всестороннем сжатии бетон начинает разрушаться, появляются необратимые деформации, и предел прочности снижается. Кривая напряжения-деформации модели представлена на рис. 2.

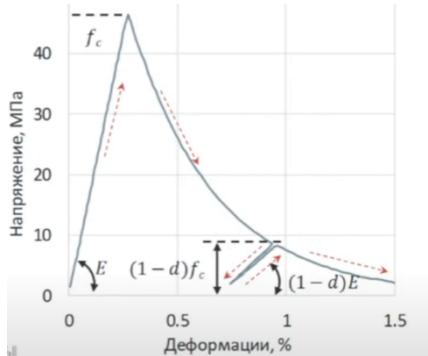


Рис. 2. Кривая напряжения-деформации модели Microplane

Модель также способна описать разупрочнение при деформациях, превышающих предельные, и снижение жесткости бетона при повторных нагружениях, что дает возможность более точно рассчитывать прочность и жесткость конструкции при циклических нагрузках.

Обе модели не учитывают повышение прочности бетона при высокой скорости деформации, поэтому их следует применять в задачах, где нагрузка прикладывается медленно, а деформирование носит квазистатический характер.

Модель SDPL (Simplified Damage Plasticity Model) представляет собой упрощенную версию классической модели повреждения пластичности (CDP), применяемой для моделирования поведения бетона в условиях разрушения [4]. Эта модель использует концепцию пластичности, основанную на взаимодействии между пластическими и поврежденными состояниями материала, что позволяет более точно учитывать такие процессы, как трещинообразование и разрушение бетона, как в условиях сжатия, так и растяжения.

Основная идея модели заключается в учете двух независимых переменных повреждения — для сжимающего и растягивающего напряжений. Это позволяет более детально симулировать поведение материала, поскольку бетон в реальности демонстрирует различные отклики на напряжения в этих режимах [5].

Как и модель Microplane, модель SDPL нельзя задать напрямую, используя стандартные модули ANSYS, поэтому для корректного задания свойств бетона необходимо использовать внутренний язык системы (ADPL). Это необходимо учесть при выборе модели для расчета.

Задачи, связанные с высокоскоростным нагружением, где скорость нагружения существенно влияет на динамическую прочность бетона, решаются при помощи модуля ANSYS Explicit. Одной из наиболее популярных моделей является модель MAT\_CSCM (Concrete). В этой модели используется 3-х инвариантный критерий пластичности и

неассоциированный закон пластического течения. Модель способна описать деформационное разупрочнение, деградацию жесткости и влияние скорости деформации на прочность бетона.

Важным преимуществом данной модели является то, что все параметры для нее генерируются автоматически на основании европейских строительных норм. Пользователю необходимо ввести только цилиндрическую прочность бетона. Авто-генерация хорошо подходит для бетонов класса от C30 до C50. Для более точной настройки параметров пользователь может определять их вручную.

Еще одной популярной моделью является модель MAT\_CONCRETE\_EC2, разработанная специально для проведения расчетов согласно Еврокоду. Все параметры модели определяются на основе этого стандарта. Модель способна учитывать все особенности деформирования бетона, регламентированные стандартом: нелинейное упрочнение, термические деформации, разупрочнение, снижение жесткости при разгрузке и повторном нагружении, а также повышение прочности бетона при обжатии арматурой.

Эта модель может использоваться только для стержневых и оболочечных конечных элементов. Армирование задается через указание процента армирования в двух направлениях.

Реализованные в ANSYS модели способны учесть многие значимые механические свойства бетона при статических и динамических нагрузках, однако, ни одна из этих моделей не является совершенной. Многие модели требуют доработок ввиду своей узкой направленности или специфики использования. Разработка и реализация новых инструментов для расчета позволит приблизиться к реальным показателям материалов, что существенно увеличит безопасность проектирования и сэкономит ресурсы при строительстве, реконструкции и восстановлении.

### **Библиографический список**

1. Маркович, А. С. Развитие нелинейных моделей бетонных и железобетонных конструкций на основе метода конечных элементов / А. С. Маркович. – М.: Российский университет дружбы народов, 2024. – 408 с
2. Menetrey, P.H., Willam, K.J. Triaxial failure criterion for concrete and its generalization. ACI Structural Journal. 1995. 92. Pp. 311-318.
3. Перцева, О.Н., Переладова, Е.И., Мартынов, Г.В., Монастырева, Д.Е., Дауров, З.С., Тихонов, Р.С. (2019). Моделирование узла балка-колонна с помощью микрополярной модели. Строительство уникальных зданий и сооружений, 4(79), 20–36

4. Hafezolghorani, M., Hejazi, F., Vaghei, R., Jaafar, M. S. B., & Karimzade, K. (2017). Simplified Damage Plasticity Model for Concrete. *Structural Engineering International*, 27(1), 68–78.

5. Шарафутдинов Л. А., Маннапов Р. М. Компьютерное моделирование железобетонных балок с учетом дефектов и повреждений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. №. 5. С. 34-45.

6. Сулейманова, Л. А. Информационное моделирование в технической диагностике зданий и сооружений: учебное пособие для слушателей программы профессиональной переподготовки «Динамические методы технической диагностики зданий и сооружений в условиях чрезвычайных ситуаций» / Л. А. Сулейманова, С. М. Есипов, П. А. Амелин. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – 135 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ВВЕДЕНИЕМ СТАЛЬНЫХ СВЯЗЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Мигулина А.А., магистрант,  
Обернихин Д.В., канд. техн. наук, доц.,  
Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.**

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

Повышение устойчивости зданий и сооружений к прогрессирующему обрушению – актуальная задача, обусловленная необходимостью обеспечения надежности работы конструкций, которая непосредственно связана с безопасностью нахождения людей в здании. Наиболее распространенной причиной возникновения особой расчетной ситуации, связанной с перераспределением внутренних усилий в конструкциях из-за исключения из работы какого-либо несущего элемента, являются аварийные воздействия [1, 2].

Значительное внимание к проблеме прогрессирующего обрушения зданий и сооружений возникло относительно недавно, но ряд исследований, проведенных за последние десятилетия как на численных, так и на физических моделях, показывают, что для снижения вероятности лавинообразных разрушений ключевое значение имеет повышение связности системы. Введение дополнительных конструктивных элементов, включающихся в работу при возникновении особой расчетной ситуации, является на данный момент одним из рациональных методов повышения живучести зданий и сооружений. В данной работе

выполнен анализ влияния на напряженно-деформированное состояние конструкций здания введения в расчетную модель стальных связевых элементов [3].

К рассмотрению принято девятиэтажное здание с полным каркасом из монолитного железобетона с безригельной системой перекрытий. Вертикальными несущими элементами являются колонны каркаса сечением  $500 \times 500$  мм, которые расположены с шагом 6 метров по направлениям вдоль осей  $x$  и  $y$ . Стены лестнично-лифтового узла толщиной 200 мм совмещают в себе функции вертикальных несущих элементов и ядра жесткости здания, обеспечивая общую устойчивость каркаса. Для исследования принято здание с высотой этажа, равной 3,3 м. Горизонтальными дисками служат плиты перекрытия толщиной 200 мм. Общий вид расчетной модели визуально отображает основные геометрические параметры модели здания (рис. 1, *a*). В расчетной модели задан ряд характерных для жилого здания нагрузок и поэтажно сформированы монтажные стадии.

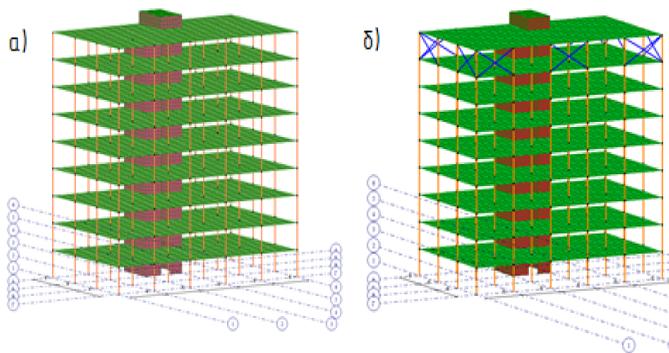


Рис. 1. Общий вид расчетных моделей каркаса в программном комплексе Лира-САПР: *a* – исходной; *б* – с металлическими связевыми элементами

В качестве конструктивных мероприятий, направленных на повышение устойчивости к прогрессирующему обрушению, приняты металлические связи, введенные через один шаг колонн на верхнем ярусе здания (рис. 1, *б*). Для крестовых связей принято сечение из квадратной трубы  $80 \times 5$ .

Типы заданного армирования для несущих конструкций приняты по результатам расчета исходной схемы на основное расчетное сочетание нагрузок, т.е. без учета аварийных воздействий. Расчет ведется в геометрически и физически нелинейной постановке с моделированием удаления угловой колонны нижнего яруса в осях Г-1.

В результате расчета исходной схемы при выключении из работы

вертикального несущего элемента происходит разрушение вышележащих конструкций, а именно 594 конечных элемента схемы (рис. 2, *a*). Разрушение происходит потому, что принятого для основной расчетной ситуации армирования недостаточно для обеспечения прочности и устойчивости при локальном отказе выбранного элемента. Максимальные вертикальные перемещения консольного участка плиты составляют 261,4 мм (рис. 2, *б*), что превышает предельно допустимую величину на 31% и также свидетельствует о разрушении сечений. Обрушение одного пролета здания говорит о том, что цепная реакция обрушений не локализуется над удаленным элементом и приводит к недопустимым по нормам последствиям [4].

В стальных связях, включающихся в работу при локальном отказе колонны первого яруса, возникают продольные растягивающие усилия. Максимальный прогиб участка плиты перекрытия над местом локального отказа составляет 26,4 мм (рис. 3, *a*), что составляет 13,2 % от допускаемого. Максимальное усилие, возникающее в растянутом элементе крестовой связи, удерживающей консольные участки плит над исключаемым из работы вертикальным стержнем, составляет 52,6 т (рис. 3, *б*), при этом прочность сечения используется на 92,7 %. Колонны, расположенные по осям Г-1, после перераспределения внутренних усилий в расчетной схеме работают как подвеска, закрепленная в области соединения с металлическими связевыми элементами.

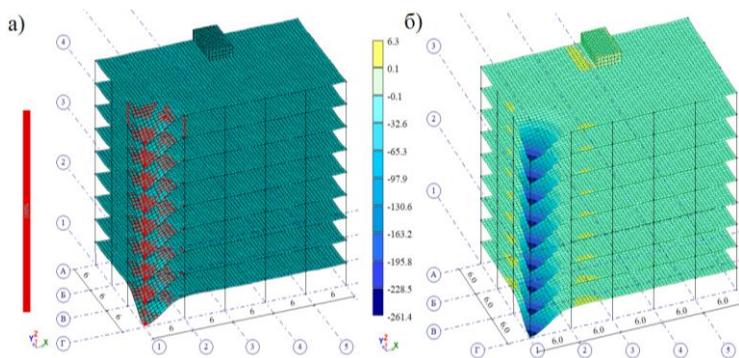


Рис. 2. Результаты расчета на прогрессирующее обрушение исходной схемы: *a* – картина разрушений каркаса; *б* – вертикальные перемещения консольного участка плиты над удаленным элементом

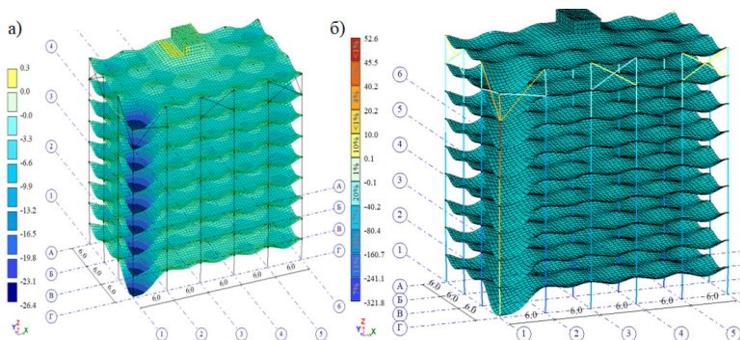


Рис. 3. Результаты расчета на прогрессирующее обрушение схемы со стальными связями: *а* – вертикальные перемещения консольного участка плиты над удаленным элементом; *б* – мозаика продольных усилий в стержневых элементах

Основные параметры напряженно-деформированного состояния каркасов зданий с вышеописанными конструктивными решениями приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры напряженно-деформированного состояния зданий**

Исследуемые параметры НДС	Исходная схема	Схема с металлическими связевыми элементами
Вертикальные перемещения консольного участка плиты над удаленным элементом, мм	261,4	26,4
Предельно допустимая величина перемещений сечений плиты при основном расчетном сочетании нагрузок, мм	30	30
Предельно допустимая величина перемещений сечений плиты при особом расчетном сочетании нагрузок [п. 5.4, 1], мм	200	200
Продольное растягивающее усилие в колонне над удаляемым элементом, т	75,6	8,2
Величина максимального изгибающего момента консольного участка плиты над удаленным элементом: относительно оси $x$ , т·м относительно оси $y$ , т·м	22,9 25,1	-1,15 -1,57

Сравнение показывает, что введение связевых элементов приводит к стабилизации расчетной схемы и предотвращению возникновения усилий, превышающих проектные значения. Максимальные значения вертикальных прогибов плиты в схеме с предусмотренной конструктивной защитой от прогрессирующего обрушения не

превышают предельно допустимых как при особом, так и при основном расчетном сочетании нагрузок. Снижение растягивающих усилий в колоннах над исключаемой из работы опорой обусловлено переходом стержней к работе по схеме подвески. Данный эффект также заметен по возникновению в плитах перекрытия во втором из рассматриваемых случаях изгибающих моментов отрицательного знака, что характерно для каркаса, находящегося в стадии эксплуатации.

Стоит отметить, что введение металлических связей является достаточно универсальным вариантом повышения устойчивости здания к прогрессирующему обрушению, так как вариативность их расположения позволяет разработать конструктивные решения при рассмотрении различных сценариев прогрессирующего обрушения. Например, при повышении этажности здания связевые блоки могут быть расположены по высоте через один этаж, что обеспечивает наиболее равномерную передачу растягивающих усилий от веса конструкций, расположенных над удаляемой опорой [5]. Также рассмотренный в данном случае вариант расположения связей позволяет обеспечить защиту здания от лавинообразного разрушения при выключении из работы любой из периферийных колонн, так как каждый нижний узел колонн последнего яруса поддерживается связевым элементом за счет расположения крестовых связей через один шаг колонн.

Таким образом, введение стальных связей в качестве конструктивных элементов позволило достичь снижения материалоемкости проектного решения по сравнению с вариантом, в котором не предусмотрены подобные меры и устойчивость к прогрессирующему обрушению достигается значительным увеличением армирования основных несущих конструкций.

### **Библиографический список**

1. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения» с изм. 3. Дата введения – 29.01.2023 г. Минстрой России. 2023. 20 с.
2. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». Москва. Стандартинформ. 2019. 16 с.
3. Колчунов В.И., Московцева В.С., Бушова О.Б., Жуков Д.И. Расчетный анализ способов защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения // Строительство и реконструкция. №4. 2021. С. 35-44.
4. 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.

5. Краснощекоев Ю.В. Устойчивость каркасного здания при отказе колонны (уроки трагедии Сеула) // Промышленное и гражданское строительство. Строительные конструкции, здания и сооружения. №12. 2019. С. 4-10.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ДРЕВЕСИНЫ CLT ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ**

**Овсянников С.И.** канд. техн. наук, доц.,  
**Руденко О.Л.**, ассистент,  
**Загуляева А.Р.**, студент,  
**Скирдин Д.С.**, студент

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

Использование экологически чистых материалов в жилом строительстве побуждает искать новые материалы и технологии. В скандинавских странах разработана технология производства многоэтажных деревянных домов из перекрестно-клееных панелей – CLT (Cross Laminated Timber) панелей [1, 2]. Хотя впервые такая технология была применена в Австралии еще в 60-е гг. XX в., в последнее время она широко применяется в странах Европы, так как древесина относится к общепринятому экологически чистому материалу. По выбросу углероду древесина имеет отрицательный след, т.е. поглощает больше углерода, чем будет выброшено при ее обработке и транспортировке. Для сравнения, на производство бетона приходится 8% совокупных выбросов углекислого газа, что превышает выбросы всей России [7].

В Российской Федерации с большим опозданием от европейских стран начата разработка и внедрение такой технологии в строительстве. Из-за отсутствия нормативно-технологической документации по данной технологии строятся только малоэтажные дома [1, 4]. Но в последнее время (в 2018-2020 гг.) построены экспериментальные 4-х этажные дома из CLT панелей (рис. 1, а), а в перспективе – серийное строительство 7-ми этажных многоквартирных домов (рис. 1, б).



Рис. 1. Деревянные многоквартирные дома из CLT панелей:  
*а* – 4-этажные; *б* – 7-этажные

Строения из CLT панелей имеют меньшую массу, что позволяет экономить на фундаменте, а высокие теплоизоляционные свойства – строить здания в условиях вечной мерзлоты. Сочетание деревянных ограждающих конструкций с бетонным каркасом позволяет строить здания значительно большей высоты (рис. 2, *а*).

В 2022 г. на встрече президента РФ В.В. Путина в Архангельской области с представителями деревообрабатывающей отрасли принято решение и разработке нормативно-технологической документации на строительство 4-х и 7-ми этажных многоквартирных зданий из CLT панелей [2, 3]. Так, уже в январе 2022-го Минстрой России сообщил о том, что актуализирован СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции» на предмет включения в документ обновленных требований к домам из CLT панелей.

Конструкция и толщина CLT панелей подбирается по теплотехническим требованиям для соответствующего климатического района страны. Для изготовления панелей применяются в основном хвойные породы – ель (для наружных и внутренних слоев, так как данная порода имеет однородный светлый цвет) и сосна (как наиболее прочная порода и стойкая к гниению) [2]. Но данные породы относятся к смолистым и при нагреве выделяется смола, которая портит и внешний вид стен, и препятствует нанесению лакокрасочных материалов. Из-за повышенной смолистости данные породы имеют низкую способность к обработке защитными растворами – антипиренами и антисептиками [5, 6].

Лиственные древесные породы не выделяют смол и легко поддаются обработке защитными растворами, окрашиваются и лакируются. Породы повышенной стойкости и прочности, такие как дуб, ясень, робиния и др, достаточно твердые, тяжелые, но самым основным сдерживающим фактором является их высокая стоимость. Поэтому данные породы используют в основном как отделочный материал, а не как строительный.

Более дешевыми породами являются береза, осина, ольха, тополь, бук. Данные породы широко распространены в европейской части России [8] и имеют промышленные объемы заготовки и использования.

Так, береза широко используется для изготовления шпона и фанеры, в производстве брусковой (каркасной) мебели, спортивного инвентаря. На заре авиастроения древесина березы относилась к авиационным материалам за счет хороших прочностных и упругих свойств. Порода отличается достаточной прочностью, гибкостью, легко обрабатывается и отделяется. Но при эксплуатации во влажных условиях подвержена грибковым и гнилостным поражениям.



Рис. 2. Деревянные строения из CLT панелей: *а* – комбинация деревянного строения с бетонными элементами; *б* – бизнес центр в Германии

Осина относится к мягким, легким породам, а, следовательно, имеет повышенное тепловое сопротивление. Светлая древесина легко окрашивается как красочными, так и лаковыми материалами. Прочностные свойства не высокие, но в сочетании с другими породами приобретают достаточную прочность. Использование осины в условиях с повышенной влажностью без просушивания, древесина поражается грибковыми и гнилостными бактериями. Но при обработке антисептическими препаратами достигается достаточная стойкость для работы в проветриваемых помещениях.

Ольха также относится к легким породам малой плотности. Древесина легко обрабатывается, пропитывается защитными растворами, достаточно хорошо обрабатывается лакокрасочными материалами, имеет очень хорошие теплофизические свойства: низкую теплопроводность и теплоемкость. Поэтому данную породу широко используют в обустройстве парных комнат бань. Древесина имеет светло-розовый окрас, который может придавать стенам своеобразный естественный цвет внутри помещений.

Тополь больше относится к декоративным, ландшафтным породам,

поэтому промышленных запасов не имеет. В строительстве применяется редко, т.к. относится к мягким породам с малой несущей прочностью. Но порода относится к быстрорастущим, что при необходимости позволяет достаточно быстро нарастить объемы промышленного производства. Древесина легко обрабатывается режущим инструментом, имеет хорошие теплоизоляционные свойства, но прочностные свойства уступают другим породам. Однако, в сочетании с другими породами при изготовлении клееных слоистых материалов обеспечивает достаточно прочную матрицу. Древесина имеет серый окрас с прожилками различного цвета. Сучки коричневого или темно-коричневого цвета. Эти пороки не всегда являются привлекательными под прозрачной отделкой. Порода не стойкая к поражениям грибками и гнилью в сухих условиях эксплуатации.

Бук широко распространен в предгорье Кавказа, в горах Карпат, в странах центральной и восточной Европы. Древесина достаточно прочная, гибкая. Хорошо поддается обработке резанием, гидротермической обработке. Важным условием для использования и хранения древесины бука является пропаривание непосредственно после заготовки. В противном случае древесину коробит, она легко подвергается поражению гнилью и грибками. Незначительные запасы буковой древесины не позволяют широко использовать ее в строительстве.

Европейский опыт строительства зданий из CLT панелей показал, что наружные поверхности стен требуют дополнительной защиты от воздействия солнечного света и влаги атмосферного воздействия. Отсутствие внешней защиты приводит к быстрому старению древесины - изменяется цвет от естественного на темные тона вплоть до черного, происходит растрескивание. Появление трещин является очагом поражения древесины грибами и гнилью, что приводит к сокращению сроков эксплуатации.

Внутренние слои панелей целесообразно выполнять из лиственных пород, а не из хвойных. Это позволит уменьшить стоимость панелей и сократить затраты на внутреннюю отделку, т.к. стены можно не отделывать, а покрыть прозрачными лаками и этим подчеркнуть природную красоту древесины.

Анализ литературных источников показал, что оценку теплофизических свойств древесины проводят методом интерполяции смежных ламелей в зависимости от их толщины. Данный метод приемлем для определения свойств с использованием древесины из одной партии поставки, т.к. даже условия произрастания значительно влияют на свойства древесины. А породный состав при оценке теплопроводности комбинированных панелей не рассматривается вообще.

Поэтому считаем, что при производстве CLT панелей из разных пород древесины целесообразно и необходимо определять теплоизоляционные свойства комбинированных панелей для более точной оценки теплоизоляционных свойств и дальнейшего использования полученных данных в конструктивных расчетах проектируемых зданий и строений.

Таким образом можно сделать вывод, что при производстве зданий из CLT панелей целесообразно использовать древесину не только хвойных пород, но и лиственных, например, березу, ольху, осину, тополь и др. Причем, внутренние слои выполнять из светлых пород, таких как осина, береза. Это позволит сократить расходы на отделке стен, а обработка прозрачными лаками – подчеркнуть природность древесины. В случае использования лиственных пород в производстве CLT панелей необходимо провести оценку теплопроводности панелей сложно-комбинированного состава для дальнейших расчетов при проектировании зданий из них.

### **Библиографический список**

1. Овсянников С.И. Деревянное домостроение за рубежом и в России // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сб. докл. – Белгород, 2017. С. 309-315.

2. Мария Кармакова. Дома из CLT в России – разовые эксперименты или накопление опыта? – Текст электронный // Forest Complex.ru Портал о лесозаготовке и деревообработке [сайт]. - URL: <https://forestcomplex.ru/wh-building/doma-iz-clt-v-rossii/?ysclid=m8i9пjарk1163184002> (дата обращения 17.03.2025).

3. В России возведут первые деревянные многоэтажки. Об опасениях застройщиков и потенциальных покупателей – Текст электронный - URL: <https://dzen.ru/a/YgSNITilbznV4H2l?ysclid=m8iag1w231356977831> (дата обращения 17.03.2025).

4. Ovsyannikov S.I., Suska A.A., Shevchenko S.A. Formation of thermal-insulating building envelopes of dome constructions for the far north regions // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. С. 022006.

5. Ovsyannikov S.I., Rudenko O.L., Suska A.A., Levkin D.A. strengthening of the adhesive joint in the production of glued beams // Lecture Notes in Civil Engineering, 2021. Т. 147. С. 222-228.

6. S. I. Ovsyannikov, A. A. Suska, V. M. Kashyna. Features of expertise in wooden housing construction // Lecture Notes in Civil Engineering, 2021. Т. 95. С. 198-205.

7. Пилотный проект строительства из деревянных панелей предлагается запустить в городе Сокол Вологодской области – Текст электронный. - URL: <https://ecosphere.press/2022/01/19/mnogoetazhki-iz-dereva-teper-i-v-rossii/> (дата обращения: 17.03.2025).

8. Овсянников, С. И. Основные древесные породы Российской Федерации и их свойства: учебное пособие для вузов / С. И. Овсянников. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 144 с.

## **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МНОГОПРОЛЕТНОЙ КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ**

**Овсянников С.И.** канд. техн. наук, доц.,

**Руденко О.Л.**, ассистент

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

Разработка деревянных строительных конструкций, наряду с металлическими и железобетонными конструкциями, является актуальным и в настоящее время [2, 4, 6-9]. Процесс заключается в создании систем, типов, элементов и видов соединений конструктивных деталей, которые позволяют максимально эффективно использовать древесину, повышая ее несущую способность и учитывая ее физические и механические характеристики [5, 6]. Одним из приоритетных направлений является создание цельных гнукотесных деревянных конструкций [3-5].

В работе рассмотрены вопросы теоретического обоснования прочности конструктивных элементов многопролетных неразрезных композитных балок, применение которых возможно в строительстве и реконструкции зданий и сооружений. Предлагается осуществлять усиление композитных многопролетных древесно-клееных балок с обоснованием схем усиления с дальнейшей экспериментальной проверкой. Предлагаемая конструкция заключается в усилении нижних зон в пролетах балки и верхних зон балки в месте расположения опоры стекловолокном на эпоксидном олигомере. Для моделирования процессов напряжений и выполнения расчетов рассматривалась модель балки с тремя пролетами по 1,5 м. Предполагается, что нагрузка равномерно распределена по всей длине балки. Для оценки рациональности сравнивались конструкции с армированием и неармированного клееного бруса по той же конструктивной схеме.

Эффективное использование древесины в процессе создания новых типов конструкций и их компонентов включает в себя несколько ключевых аспектов.

1. Укрепление узлов и соединений. Для повышения прочности и долговечности конструкций используются композитные материалы, такие как стеклопластик и углепластик. Также применяются металлические элементы, такие как болты, уголки и пластины, для усиления соединений. Внедряются клеевые технологии для создания монолитных соединений.

2. Анализ физических и механических свойств древесины. Породы древесины выбирались с высокой плотностью и устойчивостью к влаге [1]. Древесина подвергалась предварительной обработке для защиты от гниения, насекомых и огня [4]. Применялись технологии сушки и термообработки для улучшения эксплуатационных характеристик.

3. Применение современных технологий проектирования и моделирования. Используются CAD/CAM системы для точного расчета и проектирования конструкций. Применяется компьютерное моделирование для оптимизации форм и размеров элементов. Проводится виртуальное тестирование конструкций для выявления потенциальных проблем на этапе проектирования.

4. Взаимодействие с другими материалами. Для опоры балок используются бетонные и железобетонные фундаменты и опорные элементы. Также возможны контакты с пластиком и резиной для создания амортизирующих элементов. Комбинация дерева и металла позволяет создавать конструкции с оптимальными характеристиками.

5. Экологические аспекты. Так как древесина относится к экологически чистым строительным материалам, необходимо рассматривать рациональное ее использование. При этом предполагается минимизировать отходы производства за счет совершенствования технологии переработки и повторного использования материалов. А также за счет внедрения энергоэффективных решений для снижения энергозатрат на производство и эксплуатацию деревянных клееных конструкций.

Значительную роль в совершенствовании деревянных конструкций сыграло появление и развитие эпоксидных смол [6, 7]. Основной особенностью, характеризующей прогресс в области деревянных конструкций, является ориентация на клееные и композитные деревянные конструкции. Разработка и распространение клееных деревянных конструкций неразрывно связаны с успехом в производстве синтетических полимерных материалов, поскольку клеи на их основе лучше всего склеивают древесину. Одним из приоритетных направлений является создание легких композитных гнутых конструкций из древесины. К ним относятся армированные, клееные, деревобетонные, другие конструкции ферм и балок. Использование тканевых материалов позволяет значительно снизить влияние различных дефектов древесины - сучков, трещин, сколов и т.д., использовать низкосортную древесину,

которая обычно в строительных конструкциях не используется, расширить сферу применения композитных балочных конструкций не только в рамках нового строительства, но и при реконструкции значимых исторических объектов.

В настоящее время клееные деревянные конструкции используются в основном при строительстве зданий и сооружений с повышенной влажностью, агрессивной средой, большепролетных объектов. Например, спортивных залов, плавательных бассейнов, стадионов и мостов. При обеспечении требований противопожарных норм, они также могут применяться для промышленных зданий, особенно для складов и зданий с химически агрессивной средой, где использование металла и железобетона связано с высокими затратами на их антикоррозийную защиту.

Исследование основано на деревянной клееной многопролетной балке с армированием растянутых зон слоями стекловолкна на эпоксидном олигомере ЭД-20. Слои армирования расположены в местах наибольшего действия изгибающего момента в середине пролетов в нижней зоне, а также в верхней зоне балки над опорами. В качестве расчетной схемы для численного эксперимента и дальнейшего тестирования моделей была принята трехпролетная неразрезная балка с армированием двумя слоями стекловолкна. Поперечное сечение балки для численного моделирования и дальнейшего экспериментального исследования составляет  $70 \times 100(h)$  мм. Оптимальный коэффициент усиления низких балок из массива дерева составляет  $\mu = 0,75...2\%$ , граница теоретического разрыва композитного армирующего материала должна располагаться на расстоянии  $0,22...0,3L$ . Фактическая граница разрыва армирующего материала назначается с учетом требуемой длины крепления для воздействия растягивающих усилий на волокна и расщепления армирующего материала в клеевом шве.

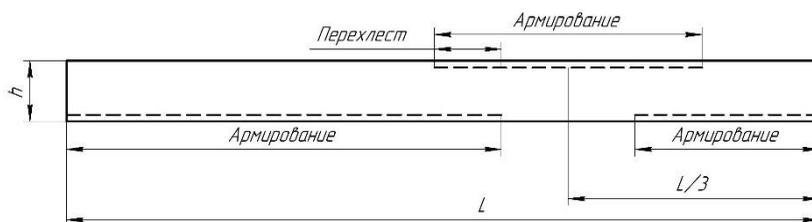


Рис. 1. Модель армирования балки (половина длины)

Существующие методы расчета деревянных конструкций позволяют с достаточной точностью оценить их несущую способность и деформируемость для любых сечений и на любом этапе работ. При нагружении в деревянных конструкциях при внешней нагрузке четко

проявляются три характерные и последовательные стадии напряженно-деформированного состояния: условно упругая, упруго-пластичная и разрушение.

Стадия условно-упругой работы характеризуется величинами деформаций, не превышающими предельные значения упругих деформаций древесины и арматуры. При разгрузке армированных элементов остаточные деформации отсутствуют или незначительны.

Первая стадия напряженно-деформированного состояния может рассматриваться как условно упругая, так как сохраняется линейная зависимость между напряжениями и деформациями, но древесина имеет частичные разрушения, не позволяющие вернуть прежние размеры. Стадия упруго-пластичной работы характеризуется появлением пластических деформаций в сжатых волокнах древесины, а затем и в сжатой арматуре. В сжатой части сечения образуется пластичная зона, распространяющаяся с увеличением нагрузки. Происходит перераспределение сил, нейтральный слой смещается к растянутым волокнам. Деформации растянутых волокон увеличиваются до значения предела пропорциональности.

Армирование выполнялось однонаправленной стеклотканью на эпоксидной матрице на части пролета и на опорах в 2 слоя, край разрыва расположен на расстоянии 0,3 м от опоры, при этом перехлест верхнего и нижнего слоев составляет 0,3 м.

Конструктивная схема конструкции принята в виде шарнирно опирающейся неразрезной трехпролетной балки. Пролеты приняты величиной 1,5 м, балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой по всей длине. Численный эксперимент проводится на размерах поперечного сечения, соответствующих размерам модели балки, которые доступны для испытаний. Изополя напряжений и перемещений, основанные на результатах численного расчета для половины пролета композитной балочной конструкции, показаны на рис. 2 и 3.

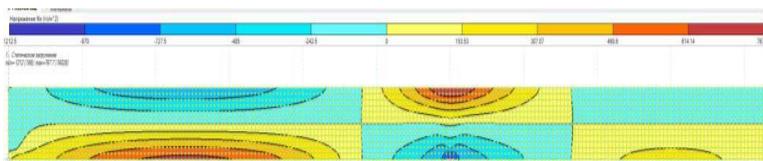


Рис. 2. Изополе нормальных напряжений  $\sigma_x$ , МПа, для клееных балок (половина длины)

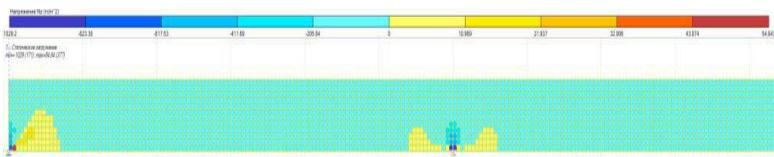


Рис. 3. Изополе нормальных напряжений  $\sigma_z$ , Мпа, для клееных балок (половина длины)

Композитные балки обычно разрушаются пластично. Это значит, что материал деформируется, а не ломается сразу.

Разрушение начинается с места, где балка сжата. Там материал раздавливается. В местах, где есть дефекты, например, сучки, возникают большие напряжения. Стекловолокно не отделяется от древесины, поэтому оно прочно связано с ним. Разрушение происходит только в нормальных местах балки. Поэтому она не ломается из-за трещин или расщеплений.

Использование композитных материалов, таких как стеклопластик и углепластик, помогает защитить окружающую среду.

Технологии переработки и повторного использования материалов помогают уменьшить количество отходов.

Энергоэффективные решения снижают затраты на производство и эксплуатацию конструкций.

В отличие от цельнодеревянных балок, при рациональном усилении растянутых зон прочность композитных балок возрастает на 24-27 %, а деформируемость уменьшается на 8-13 %. Основные показатели эффективности несущих конструкций включают как конструктивные и технологические параметры, такие как размеры поперечного сечения и монтажный вес, так и технико-экономические характеристики, включая расход основных материалов, заводскую себестоимость, стоимость конструкций в корпусе, приведенные затраты, эксплуатационную пригодность и т.д. Эффективность композитных деревянных конструкций по сравнению с традиционными стальными или железобетонными конструкциями можно оценить по следующим параметрам:

Прочность и долговечность:

- высокая прочность древесины на изгиб и сжатие при относительно небольшом весе;

- устойчивость к коррозии и долговечность при правильном уходе и защите.

Экономичность:

- более низкая стоимость материалов по сравнению с металлом;

- меньшие затраты на транспортировку и монтаж из-за легкости материала;

– снижение эксплуатационных расходов благодаря низкой теплопроводности и энергоэффективности.

Экологичность:

– использование возобновляемого ресурса;  
– меньшее воздействие на окружающую среду при производстве и утилизации.

Теплоизоляционные свойства:

– низкая теплопроводность древесины улучшает теплоизоляцию зданий.

Эстетичность:

– возможность создания уникальных архитектурных решений;  
– природная текстура и цвет древесины придают зданиям эстетическую привлекательность.

Технологичность:

– Простота обработки и монтажа;  
– возможность использования современных технологий для улучшения качества и долговечности конструкций.

Пожарная безопасность:

– естественная огнестойкость древесины;  
– современные методы обработки и пропитки могут повысить огнестойкость конструкций.

Акустические свойства:

– хорошая звукоизоляция.

Устойчивость к биологическим воздействиям:

– природная устойчивость к гниению и воздействию насекомых;  
– современные методы защиты могут дополнительно повысить устойчивость.

Таким образом, композитные деревянные конструкции обладают рядом преимуществ, делающих их конкурентоспособными в строительстве.

Исходя из полученных результатов, можно утверждать о целесообразности и эффективности способа усиления деревянных балок.

Исследование показало, что, в отличие от деревянных балок, прочность композитных балок при рациональном усилении растянутых зон увеличивается на 24-27%, а деформируемость снижается на 8-13%. С точки зрения работы предлагается использовать зарекомендовавший себя метод вакуумной инфузии, который положительно влияет на технико-экономические показатели.

### **Библиографический список**

1. Овсянников С.И. Деревянное домостроение за рубежом и в России // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): Сборник докладов

международной научно-практической конференции. Белгород, 2017. С. 309-315.

2. Ovsyannikov S.I., Suska A.A., Shevchenko S.A. Formation of thermal-insulating building envelopes of dome constructions for the far north regions // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 022006.

3. Ovsyannikov S.I., Rudenko O.L., Suska A.A., Levkin D.A. strengthening of the adhesive joint in the production of glued beams // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 147. С. 222-228.

4. S. I. Ovsyannikov, A. A. Suska, V. M. Kashyna. Features of expertise in wooden housing construction // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 95. С. 198-205.

5. Лукин М.В. Совершенствование конструкций и технологии производства деревоклееных композитных балок: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 150 с.

6. Леонова А.Н., Акритов Х.Э. Усиление деревянных конструкций композитными материалами // Наука. Техника. Технологии. 2020. №2. С. 329-333.

7. Смирнов Е.А. Прочность и деформативность клееных деревянных балок групповым армированием на части длины: дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 140 с.

8. Репин В.А. Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2000. 158 с.

9. Шуко В.Ю. Клееные деревянные балки, армированные стальной арматурой //Тр. Иркутского политехн. ин-та. Вып. 37. Иркутск, 1967. С. 51–59.

## **ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ В ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

**Панченко Л.А., канд. техн. наук, доц.**

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

Конструкции из волокнистых композитов получают все большее распространение в связи с их преимуществом перед прежними решениями по ряду показателей. Внедрение их в практику строительства дает экономии материалов и связанных с их применением средств защиты от агрессивных воздействий [1].

Существенным фактором становится новый подход к проектированию несущих конструкций. Это касается как критерия оптимальности, так и метода расчета.

Алгоритм расчета конструкций из волокнистых композитов имеет вариационную основу его производства. Сопутствующее энергетическое содержание имеет место и при постановке задач синтеза систем, что противостоит субъективному введению критерия оптимальности. Критерий синтеза представляется как следствие стационарности функционала для конкретной задачи [2, 3]. Проблема прочности конструкции решается в рамках вариации дискретного и дисперсного армирования.

Различают три категории структурного синтеза: топология, геометрия, параметры элементов. Топология знаменует комплекс узлов и способ их соединения для создания геометрически неизменяемой системы. Имеются математические приемы для ее отражения. Для дискретных систем типа ферм используются матрицы влияния [4].

На современном этапе синтеза несущих конструкций преобладает проектирование геометрии и параметров элементов при заданной топологии. На рис. 1 представлен алгоритм решения задачи структурного синтеза по методу конечных элементов (МКЭ), сочетающемуся с методом дополнительных нагрузок.

Варьируемыми параметрами  $\theta$  являются координаты узлов конструктивных систем, геометрические величины, механические характеристики. В качестве начального приближения  $\theta_0$ , в частности, используются аналоги из предшествовавших решений.

Тождественность МКЭ и метода Рэлея-Ритца позволяет выработать теоретические основы для выбора и оценки базисных функций МКЭ, обеспечивающих сходимость итерационного расчета конструкций [2].

Расчет фибробетонных тонкостенных конструкций ведется по предельным состояниям первой и второй группы. Рассматриваются дисперсно армированные волокнами, распределенными в определенных количествах в назначенных областях элемента конструкции. Расчет ведется для сечений, расположенных нормально или наклонно к продольной оси.



Рис.1 Алгоритм решения задачи структурного синтеза

В первом случае предельные усилия находятся при следующих предпосылках: а) сопротивление фибробетона сжатию  $R_{fb}$  равномерно распределено в соответствующей зоне; б) сопротивление растяжению  $R_{fbt}$  представляется с учетом коэффициента полноты эпюры напряжений; в) напряжения в стержневой арматуре в сжатой и растянутой зонах ( $R_{sc}$  и  $R_s$ ) назначаются в рамках теории железобетона.

В выражениях  $R_{fb}$  и  $R_{fbt}$  есть коэффициенты, учитывающие влияние бетона-матрицы на прочность фибробетона в зависимости от длины и диаметра волокон, а также процента армирования.

Стальная стержневая арматура может быть приведена к фибровому армированию относительно  $R_s/R_{fbt}$  и специального коэффициента [5, 6].

Расчет элементов фибробетонных тонкостенных конструкций по наклонным сечениям ведется на поперечную силу и изгибающий момент в соответствии с нормативными требованиями [5,6].

Основным условие расчета по образованию трещин является выражение

$$M \leq M_{crc}, \quad (1)$$

где  $M_{crc}$  – изгибающий момент в нормальном сечении при образовании трещин. Его выражение

$$M_{crc} = W_{pl} \sigma_{fbt,ser} \quad (2)$$

содержит специфические величины момента сопротивления и напряжения при комбинированном армировании волокнами и стальными стержнями [6].

Расчет по раскрытию трещин ведется только для нормальных сечений. В формулу ширины раскрытия трещин вводится коэффициент длительности нагрузки, равный 3 для стеклофибробетона и 1,5 для бетона с углеродными волокнами. Вводится также коэффициент объемного содержания волокон.

В расчетах элементов фибробетонных тонкостенных конструкций по деформациям фигурируют кривизны, прогибы и углы поворота сечений для областей, где в растянутой зоне отсутствуют трещины. Для областей с комбинированным армированием такого рода расчеты ведутся с включением зон, содержащих трещины. Традиционные подходы учитывают специфические факторы для дисперсно армированного материала.

Эффект применения волокнистых композитов покажем на примере проектирования железобетонного резервуара с дополнительным дисперсным армированием по предельному состоянию второй группы.

Модель круговой цилиндрической оболочки с симметричной нагрузкой содержит четыре внутренних усилия: два изгибающих момента ( $M_1, M_2$ ), поперечную ( $Q$ ) и кольцевую ( $N$ ) силы. Предусмотрена шаговая процедура нагружения.

Рассмотрим железобетонный цилиндрический резервуар, испытывающий гидростатическую нагрузку. При наличии ступенчато-переменного модуля продольной упругости может быть востребована единичная функция Хевисайда.

При винклеровской модели грунтового основания функционал Лагранжа имеет следующий вид:

$$J = \frac{1}{2} \vec{q}^T K_1 \vec{q} + \frac{1}{2} \vec{q}^T K_2 \vec{q} - \vec{q}^T \vec{F} + \frac{1}{2} \vec{w}^T K_3 \vec{w}, \quad (3)$$

где  $\vec{F}$  – вектор узловых сил;  $\vec{q}(\vec{w})$  – вектор узловых перемещений резервуара (основания),  $K_1(K_2)$  – матрица жесткости оболочки (днища),  $K_3$  – матрица жесткости основания.

Упрощение расчета производится в результате представления оболочки нулевой кривизны в виде вписанного многоугольника и использования плоских конечных элементов в виде прямоугольников. В матрице жесткости элемента присутствуют матрицы плоского напряженного состояния и пластинки.

При шаговой процедуре нагружения принимаем шаг заполнения

жидкостью –  $n$  метров. На первом шаге задаемся минимальными процентами дисперсного и дискретного армирования. Находим внутренние усилия  $M_1, M_2, Q, N$ ; нормальные напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$  и касательные напряжения  $\tau$ , а также главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

Учитывая расчетные сопротивления стержневой и проволочной арматуры сжатию ( $R_{sc}$ ) и растяжению ( $R_s$ ) [5] и аналогичные величины для фибробетона  $R_{fb}$  и  $R_{fbt}$  [1,6], следуя алгоритму (см. рис. 1), производим проверку удовлетворения неучтенным ограничениям:

$$\begin{aligned} \sigma_x &\leq R_s; \quad \sigma_y \leq R_s; \quad \sigma_x \leq R_{fbt}; \quad |\sigma_x| \leq R_{fb}, \\ \sigma_y &\leq R_{fbt}; \quad |\sigma_y| \leq R_{fb}; \quad \sigma_1 \leq R_{fbt}; \quad |\sigma_2| \leq R_{fb}. \end{aligned} \quad (4)$$

Если неравенства (4) не выполняются, что говорит, в частности, об образовании трещин, требуется увеличить процент дискретного и (или) дисперсного армирования.

На втором шаге нагрузка увеличивается, исходя из учета нового слоя жидкости. Корректируется вариант армирования в соответствии с выполнением условий (4).

Число шагов равно  $m = H/n$ , где  $H$  – высота резервуара. Помимо регулирования процента армирования, в целях экономии бетона проектируют резервуар ступенчато-переменной толщины. В алгоритме расчета это находит отражение на стадии формирования матрицы жесткости системы. Естественно, это влияет и на дискретное армирование (имеется в виду обрыв отдельных стержней).

Для иллюстрации приведенного алгоритма рассмотрим численный пример расчета железобетонного цилиндрического резервуара из бетона класса В20 с размерами диаметром 8 м и высотой 6 м с дискретным и дисперсным армированием. Гидростатическую нагрузку создает жидкость с объемным весом  $10 \text{ кН/м}^3$ . Толщина стенки резервуара имеет три ступени: 10 см при  $0 < x \leq 2 \text{ м}$  ( $x$  – вертикальная ось координат с началом на уровне верха днища); 6,67 см при  $2 < x \leq 4 \text{ м}$ ; 3,33 см при  $4 < x \leq 6 \text{ м}$ .

Для расчета шаговым методом (10 шагов) использован вычислительный комплекс ЛИРА [7]. Цилиндрический резервуар разделен на конечные элементы размером  $20 \times 70 \times 3,33 \text{ см}$ . Днище резервуара моделируется как круглая пластинка на упругом основании [8]. В табл. 1 представлены внутренние усилия на последнем шаге расчета.

Таблица 1

<b>Внутренние усилия в стенке цилиндрического резервуара</b>				
$x, \text{ см}$	$M_1, \text{ кН-см/см}$	$M_2, \text{ кН-см/см}$	$Q, \text{ кН/см}$	$N, \text{ кН/см}$
0	-6,47	1,03	0,278	0
100	1,12	0,179	-0,03	2,12

1	2	3	4	5
200	0,03	0,005	-0,002	1,65
300	-0,01	0,0016	0	1,20
400	0,002	0	0	0,08
500	0	0	0	0,04
600	0	0	0	0

В соответствии с табл. 1 принята стальная арматура класса А400 (0,1%) в продольном направлении в областях, примыкающих к:

- а) наружной поверхности ( $0 < x \leq 1$  м);
- б) внутренней поверхности ( $1 < x \leq 2$  м), и в кольцевом направлении.

Кроме того, предусмотрено дисперсное армирование полимером на основе стекловолокна диаметром  $d = 15$  мкм: а) длиной  $l = 50$  мм, процент армирования 4,5 при  $0 < x \leq 2$  м; б)  $l = 35$  мм, 3% при  $2 < x \leq 4$  м; в)  $l = 20$  мм, 3% при  $4 < x \leq 6$  м.

Пример подтвердил эффект согласования вариационного подхода, конечно-элементного метода и шаговой процедуры нагружения при решении задачи синтеза тонкостенной конструкции – железобетонного цилиндрического резервуара с дискретным и дисперсным армированием. Он выражается в рациональном комплексном применении материалов, каждый из которых находит свое целенаправленное использование. Экономии средств отражает проектный критерий – минимум потенциальной энергии системы.

### Библиографический список

1. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. 184 с.
2. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.
3. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Зинькова В.А. Структурный синтез стержневых систем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. Т.7. № 10. С. 34-40.
4. Юрьев А.Г. Оптимизация топологии и геометрии конструкций. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова., 2018. 96 с.
5. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2004. 58 с.
6. Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций (ВСН 56-97). М.: НТУ НИЦ «Строительство», 1997. 91 с.

7. Городецкий А.С., Заворицкий В.И., Лантух-Лященко А.И., Рассказов А.О. Метод конечных элементов при проектировании транспортных сооружений. М.: Изд-во “Транспорт”, 1981. 143с.

8. Овечкин А.М. Расчет железобетонных круглых резервуаров. М.: Стройиздат, 1950. 240 с.

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НДС ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

Для любого метода расчета железобетонных конструкций важное значение имеет принятая физическая модель работы сечения. Здесь имеется в виду способ учета физической нелинейности деформирования бетона и арматуры.

Так, согласно методу предельного равновесия, эпюра напряжений в сжатом бетоне первоначально была принята прямоугольной с ординатой, равной  $R_u$ . Основное преимущество данного метода - отсутствие необходимости учета характера распределения деформаций по высоте сечения, поскольку величины возникающих усилий в нем считаются известными. Несмотря на такую предельную идеализацию работы сжатого бетона, метод предельного равновесия показывает очень точные значения. Небольшая погрешность в величине несущей способности и простота расчетного аппарата способствовали тому, что он нашел широкое применение при расчете несущей способности балок.

Однако, как показывала практика и исследовательские работы многих ученых, метод предельного равновесия, применения высокопрочных бетонов и сталей, не имеющих площадки текучести (рис. 1), а также при расчете слабоармированных элементов, использование прямоугольной эпюры напряжений с ординатой  $R_u$  в сжатом бетоне далеко не всегда дает удовлетворительные результаты [1].

Эти погрешности удалось несколько снизить, используя в качестве расчетного параметра прямоугольной эпюры величину  $R_{np}$ . Однако, несмотря на указанные корректировки расчетного аппарата, в основу которого положена прямоугольная эпюра напряжений в бетоне, для балок с низким и средним процентом армирования опытные и теоретические данные совпадают лишь в начале площадки текучести арматуры. При работе стали на площадке текучести, а также в случае использования высокопрочной стали происходит заметное увеличение плеча внутренней пары сил и опытные данные могут оказаться больше вычисленных с

использованием прямоугольной эпюры на 20-25% и даже более [2].

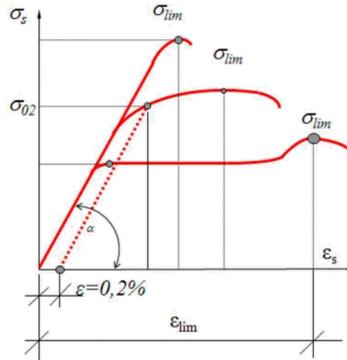


Рис. 1. Диаграмма напряжений разных видов стали

Попытки сблизить опытные и теоретические данные, такие как введение зависимости относительной высоты сжатой зоны от прочностных и деформативных свойств бетона и арматуры, предложенной Н.М. Мулиным и Ю.П. Гуцей [3], учет работы стали в стадии самоупрочнения, ограничение максимального и минимального процента армирования и некоторые другие привели к загроможденности расчетного аппарата эмпирическими коэффициентами, зависящими от вида используемых материалов, компоновки сечений, содержания арматуры и т.п.

Такой подход, с одной стороны, существенно снизил эффективность достаточно четких исходных предпосылок, а с другой – привел к направленной ориентации на существующие виды материалов. Ограничения, накладываемые на этот метод свойствами материалов, необходимостью знания схемы разрушения, а также отсутствием возможности оценки работы конструкции в эксплуатационной стадии вызвали потребность в разработке более универсальных методов расчета.

Один из таких методов основан на решении системы уравнений вида

$$\delta_{i,0} + \delta_{i,i} X_i + \sum_{k \neq i} \delta_{i,k} X_k + \sum \psi_i M_i^\Omega + \Theta_i = 0 \quad (1)$$

где  $X_b$ ,  $X_k$  – неизвестные усилия в пластических шарнирах;  $\psi_i$ ,  $\theta_i$  – углы взаимного поворота сечений  $i$  и  $i'$  зон пластических деформаций.

К его недостаткам следует отнести сложность решения уравнений (1), поскольку углы поворота здесь являются функцией неизвестных усилий и решение может быть получено только на основе последовательных приближений. Применение указанного метода, по мнению его авторов, целесообразно лишь для проверки упрощенной

методики расчета или оценки экспериментальных данных.

Недостатки уравнений вида (1) частично устраняются с привлечением метода вынужденных углов поворота [4]. Однако, несмотря на достижение некоторых упрощений за счет использования принципа независимости действия сил, при решении полученной системы уравнений также не обойтись без последовательных приближений [5].

Представляет интерес метод предельных углов поворота, разработанный Бейкером. Здесь также используется уравнения вида (1). Для упрощения ее решения вводятся следующие допущения:

- зависимость «момент – угол поворота» принимается в виде условной заменяющей билинейной зависимости, состоящей из наклонного (упругого) и горизонтального (пластического) участков;
- в сечениях между пластическими шарнирами не происходит развития пластических зон.

Наряду с преимуществами этот метод обладает и некоторыми недостатками, к которым следует отнести упрощенную интерпретацию зависимости « $M-\theta$ ».

#### **Библиографический список**

1. Лазовский Д.Н. Расчет прочности, жесткости и трещиностойкости стержневых железобетонных конструкций// Вестник Полоцкого университета. – Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – С.69-76.
2. Перельмутер А.В. Основы метода расчетных предельных состояний / А.В. Перельмутер, О.В. Кабанцев, С.Ф. Пичугин/ М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательство Дом АСВ, 2019. - 240 стр.
3. Гуца Ю.П. Расчет деформаций конструкций на всех стадиях при кратковременном и длительном нагружении/ Ю.П. Гуца, Л.Л. Лемыш// Бетон и железобетон. – 1985. – №11. – С.13-16.
4. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 28 февраля 2019 г. № 116-П: дата введения 2019-09-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 22 с.
5. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 29 ноября 2018 г. № 54: дата введения 2020-01-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 22 с.

## **НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕНКЕ ДВУТАВРА ПРИ ИДЕАЛИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Солодов Н.В., канд. техн. наук, доц.,  
Рябоконе И.Р., аспирант,  
Сенкевич А.Д., аспирант**

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

Исследованию локальных напряжений посвящены работы многих авторов. Эти работы имеют как теоретический, так и экспериментальный характер. Сегодня общепризнано, что в нашей стране создана общая теория локальных напряжений применительно к металлическим конструкциям. Значительный вклад в ее создание внесли П.Ф. Панкович, Б.М. Броуде, Б.Б. Лампси, А.И. Колесов, Ю.И. Кудишин, И.Е. Спенглер, А.И. Стрельбицкая и ряд других исследователей. На этой основе разработана отечественная нормативная методика [1-5].

Более поздние исследования последних двух десятилетий [6] стали актуальными в связи с разработкой новых конструктивных решений изгибаемых элементов, включая подкрановые балки, перфорированные балки, балки с гибкой и с гофрированной стенками.

Известно, что при теоретических решениях задач механики твердого деформируемого тела рассматриваются идеализированные, хотя и максимально возможно приближенные к реальности, расчетные схемы, включая и представление в них нагрузок: сосредоточенные (приложенные в точку) нагрузки; линейно или поверхностно равномерно распределенные нагрузки; неравномерно распределенные по заданному закону нагрузки. Реальный характер приложения (действия) сосредоточенной силы в решающей степени обусловлен конструктивным решением элементов, образующих узел сопряжения. Как правило, учесть в теоретическом решении реальный характер распределения, например, опорной реакции балки настила на главную балку при поэтажном опирании и двутавровых сечениях обеих балок невозможно. Эпюра давления по пятну контакта полок балок в узле сопряжения будет иметь ярко выраженный неравномерный характер. Однако, в методике норм [7], для получения более простой расчетной зависимости, эти особенности не учитываются.

С этой точки зрения, представляет интерес и актуальны исследования напряжений в стенке двутавра от идеализированных схем (вариантов) передачи сосредоточенной нагрузки на полку и стенку двутавра, которые можно рассматривать как элементы (составные части) реальных поверхностно- неравномерных эпюр давления.

В настоящей статье представлены результаты численного моделирования четырех вариантов приложения сосредоточенной нагрузки на полку и стенку двутавра. Они показаны на рис. 1.

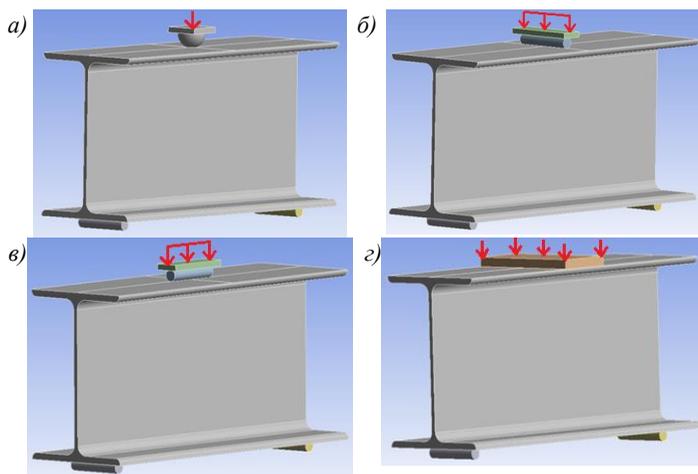


Рис. 1. Способы передачи сосредоточенной силы на стенку двутавра:  
*а* – вариант 1 – точечная, посредством шарообразного тела; *б* – вариант 2 – линейно распределенная перпендикулярно плоскости стенки, посредством стального цилиндра; *в* – вариант 3 – то же, в плоскости стенки; *з* – вариант 4 – поверхностная равномерно распределенная на ограниченной площади полки, посредством стальной пластины

В качестве объекта исследования и моделирования принят фрагмент двутавра 40Б2 по СТО АСЧМ 20-93 из стали С375. Двутавр располагали на двух опорах с пролетом 500 мм, длина фрагмента составляла 600 мм. Нагрузку в виде сосредоточенной силы в середине пролета прикладывали ступенями 50; 100 и 150 кН. Максимальное значение нагрузки принято из условия, что напряжения в стенке не превысят предел текучести стали. Объект исследования показан на рис. 2. Точками на стенке двутавра показана сетка узлов, в которых по результатам численного моделирования фиксировали значения напряжений для анализа в рамках настоящей статьи. В дальнейшем предполагается выполнить испытание физического образца, в обозначенных точках которого будут наклеены тензодатчики.

Численное моделирование выполняли в программном комплексе Ansis. Генерация конечных элементов происходила в автоматическом режиме, размер сетки принят 5 мм.

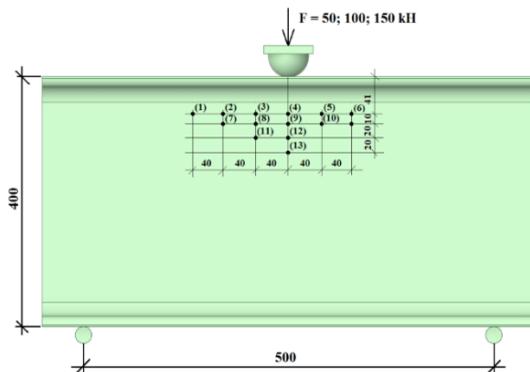


Рис. 2. Общий вид и размеры объекта исследования; схема расположения и нумерации контрольных точек (расстояния – в мм)

По результатам численного моделирования получали мозаики и изополя, в соответствии с принятыми в расчетном комплексе Ansis обозначениями напряжений  $\sigma_3$ , которые соответствуют одному из главных напряжений. Мозаики и изополя получены для каждого из четырех вариантов приложения нагрузки и каждой из трех ступеней нагружения. На рисунке 3 приведена картина изополей  $\sigma_3$  для первого и третьего вариантов нагружения при сосредоточенной нагрузке в 150 кН. В таблице 1 даны значения  $\sigma_3$  для всех вариантов и ступеней нагружения (для точек стенки в соответствии с рис. 2).

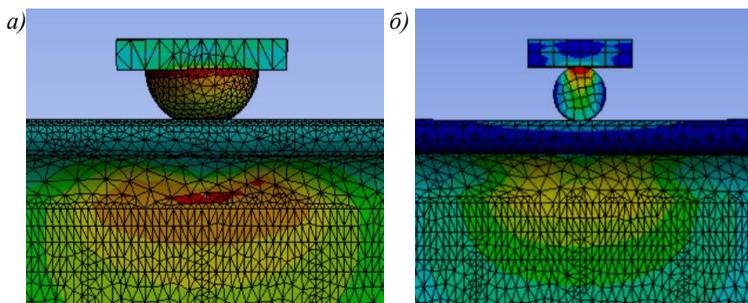


Рис. 3. Изополя  $\sigma_3$  для фрагмента стенки при F=150 кН:  
*а* – вариант 1 – точечная, *б* – вариант 2 – линейно распределенная перпендикулярно плоскости стенки

Анализ данных табл. 1 показывает, что величина  $\sigma_3$  сильно зависит от варианта загрузки и от расстояния до точки приложения силы F. Значения напряжений  $\sigma_3$  по оси действия силы F, т.е. в узлах № 4, 9, 12, 13 совпадают с напряжениями  $\sigma_y$ , которые, в свою очередь эквивалентны

$\sigma_{loc}$  отечественных нормативных документов. Максимальное значение  $D$  соответствует варианту с передачей нагрузки посредством стального шара (215,66 МПа), а минимальное – варианту со стальной пластиной (130,1 МПа). Отличие составляет около 39,7 %, что много. Для варианта 2 – отличие 31,6 %. Для варианта 3 – отличие 7,3 %, что близко по значению к варианту 4. Отметим, что расчетные значения напряжений  $\sigma_{loc}$  по нормам [6] одинаковы.

Таблица 1

Значения $\sigma_3$ в стенке двутавра в избранных точках											
50,00	100,00	150,00	50,00	100,00	150,00	50,00	100,00	150,00	50,00	100,00	150,00
Вариант 1, $\sigma_3$ , МПа			Вариант 2, $\sigma_3$ , МПа			Вариант 3, $\sigma_3$ , МПа			Вариант 4, $\sigma_3$ , МПа		
14,5	28,9	43,4	15,1	30,1	45,1	15,9	31,7	47,5	22,7	45,2	67,8
23,7	47,3	70,9	24,9	49,8	74,7	26,5	52,9	79,3	33,0	65,9	98,8
45,4	90,7	136,0	44,9	89,7	134,5	41,7	83,4	125,1	41,9	83,8	125,6
71,9	143,8	215,7	63,5	126,9	190,3	46,8	93,6	140,3	43,4	86,7	130,1
45,3	90,6	135,9	44,9	89,7	134,5	41,7	83,5	125,2	42,0	83,9	125,8
23,7	47,3	70,9	24,9	49,8	74,7	26,4	52,7	79,0	32,9	65,8	95,8
24,8	48,4	74,4	25,8	51,6	77,3	26,6	53,1	79,7	31,0	63,8	95,6
42,7	85,4	128,0	41,9	83,8	125,6	38,4	74,3	115,1	39,0	77,9	116,9
59,6	119,2	178,8	54,3	108,5	162,7	42,7	85,3	128,0	40,5	81,0	121,5
42,7	85,3	127,9	41,9	83,7	125,7	38,4	76,8	115,1	39,0	78,0	116,9
36,3	72,5	108,7	35,5	71,0	106,4	32,4	64,9	97,3	33,8	67,5	101,3
43,5	86,9	130,3	41,1	82,2	123,2	35,0	70,0	105,0	34,9	68,9	104,8
33,4	66,8	100,2	32,3	64,5	96,8	28,7	57,4	86,1	30,1	60,2	88,6

Для визуализации кинетики напряжений в пределах выделенной области стенки двутавра построены эпюры  $\sigma_3$  для вариантов и ступеней нагружения. Эпюры приведены по значениям напряжений в точках верхнего ряда на рис. 2, т.е. для горизонтального сечения по стенке, расположенного на расстоянии 41 мм от наружной грани верхней полки. Это на 13 мм ниже расчетного сечения по методике норм. Эпюры показаны на рис. 4 и 5.

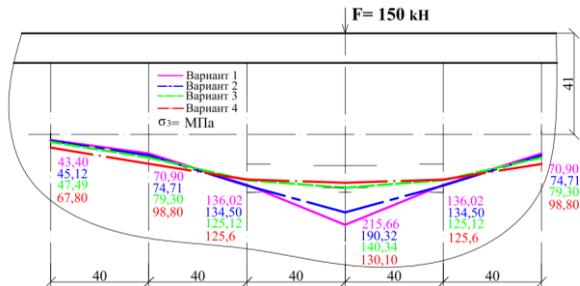


Рис. 4. Эпюры  $\sigma_3$  по данным численного моделирования для четырех вариантов приложения сосредоточенной нагрузки при  $F=150$  кН

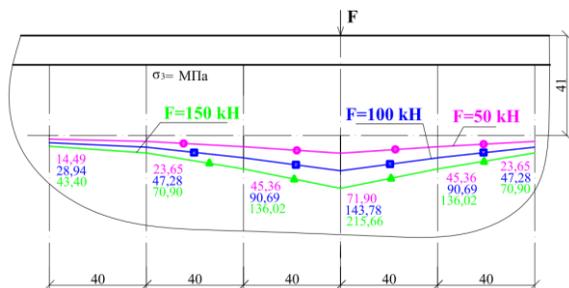


Рис. 5. Эпюры  $\sigma_3$  по данным численного моделирования для варианта нагружения 1 (посредством стального шара), (напряжения показаны в МПа, расстояния – в мм)

Сравнение эпюр для вариантов 1-4 показывает, что при передаче нагрузки через пластину характер линии эпюры более пологий, концентрация напряжений по линии действия силы  $F$  существенно менее выражена, чем для варианта со стальным шаром. Это вполне предсказуемый эффект. Варианты нагружения 1 и 2 по форме и величине ординат эпюр  $\sigma_3$  достаточно близки, как близки между собой форма и ординаты эпюр вариантов 3 и 4.

Значения  $\sigma_3$  интенсивно затухают по мере удаления по горизонтали и вертикали от точки приложения силы  $F$ . Так, на расстоянии всего 120 мм по горизонтали от линии действия приложенной силы, величина  $\sigma_3$  снижается (по данным эпюры рис. 4) по вариантам 1-4, в 4,97; 4,22; 2,96; 1,92 раза соответственно.

Сравнение величин  $\sigma_{loc}$ , найденных по методике норм [7] со значениями, полученными в узле № 4 по результатам моделирования, показало следующее. Расчетные величины  $\sigma_{loc}$  по СП для вариантов 1-4 равны: 336,9; 336,9; 120,9; 107,1 МПа. Соответствующие данные численного моделирования – 263,50; 226,18; 156,38; 144,98 МПа. Приведенные данные моделирования найдены с учетом несовпадения по высоте стенки расчетного сечения для  $\sigma_{loc}$  по СП [6] и сечения, для которого построены эпюры на рисунках 4 и 5. Отличие в величинах составляет, соответственно, -21,8 %, -32,9 %, +29,3 %, +35,4 %. За 100 % принимали расчетную по СП величину  $\sigma_{loc}$ .

Численным моделированием установлено, что на величину напряжений в стенке стального двутавра значительное влияние оказывает не только величина сосредоточенной нагрузки, но и то, каким образом она воздействует на стенку с учетом варианта передачи сосредоточенной нагрузки. В рассмотренных четырех вариантах идеализации отличие в величине  $\sigma_{loc}$  достигало 39,7 %. Наиболее близок к расчетному значению по методике норм оказался вариант, в котором передача сосредоточенной

нагрузки предусматривалась посредством стальной пластины, отличие составило – 21,8 %.

### **Библиографический список**

1. Броуде Б.М. Распределение сосредоточенного давления в стальных балках. М.-Л., 1950.
2. Лампси Б.Б. Металлические тонкостенные несущие конструкции при локальных нагрузках: Теория местных напряжений // М.: Стройиздат, - 1979. – 272 с.
3. Колесов А.И. Экспериментальное исследование несущей способности двутавровых балок при сосредоточенных нагрузках. – Сб. научн. трудов / Горьковский ИСИ. Горький, 1974, №70.
4. Спенглер И.Е. Экспериментальное исследование сварных подкрановых балок. – Сб. науч. трудов / МИСИ. М., 1950, №7.
5. Кудишин Ю.И. Распределение сосредоточенной нагрузки в стенке подкрановой балки при неровностях на контактных поверхностях рельса и верхнего пояса балки / Ю.И. Кудишин // Материалы по металлическим конструкциям. – 1967. - № 12. – С. 123-129.
6. Солодов Н. В., Пешкова Е. В. Исследование устойчивости стержней //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2015. – №. 4. – С. 25-27.
7. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*2017. – 228 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ОБРАЗЦОВ КЛАДКИ ИЗ ЯЧЕЙСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ**

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

**Иванчиков А.В., магистрант**

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

**Се Ди, аспирант**

*Хулунбуирский университет, г. Хулунбуир, Китай*

В современном строительстве широко используются различные строительные материалы, среди которых особое место занимают ячеистобетонные блоки. Они обладают рядом преимуществ, таких как легкость, высокая теплоизоляция, простота монтажа, что делает их одним из основных материалов для возведения стен и перегородок. Однако для обеспечения надежности и безопасности зданий необходимо тщательно изучать свойства этих материалов, в том числе их прочность при различных видах нагрузок [1-7].

Одним из ключевых аспектов исследования ячеистобетонных блоков является изучение их прочности при изгибе. Это важно для определения способности кладки выдерживать нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации здания, такие как вес перекрытий, мебели и оборудования, а также ветровые и сейсмические нагрузки [8-14].

Для оценки прочности сцепления ячеистобетонных блоков и связующего материала при изгибе проведены испытания двух образцов. Изготовленные образцы представляют собой модель балки, размером  $100 \times 100 \times 500$  мм, выполненных из ячеистобетонных блоков, как показано на рис. 1, соединенных между собой полиуретановым клеем и цементно-песчаным раствором, в состав которой входит: цементно-песчаная основа и полимерная добавка.

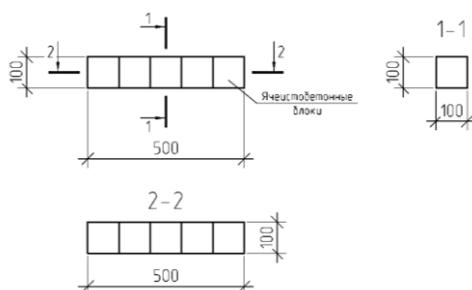


Рис. 1. Размеры образцов для испытаний на изгиб

Толщина клеевого шва в экспериментальных образцах составила 1,5-3 мм. Формирование толщины клеевого шва произошло за счет местных неровностей на плотно стыкуемых склеиваемых поверхностях. Испытания образцов проводились по методике [15].

Общий вид образцов, установленных в прессовое оборудование представлен на рис. 2.

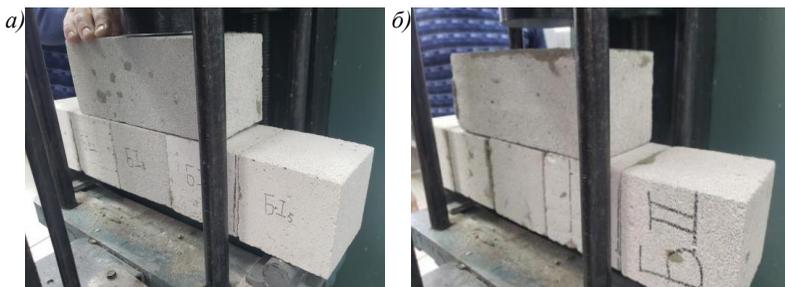


Рис. 2. Общий вид образцов до испытаний на изгиб: а – образец на полиуретановом клее; б – образец на цементно-песчаном растворе

Характер разрушения образцов после проведения испытаний на прочность сцепления ячеистобетонных блоков и связующего материала при изгибе показан на рис. 3.

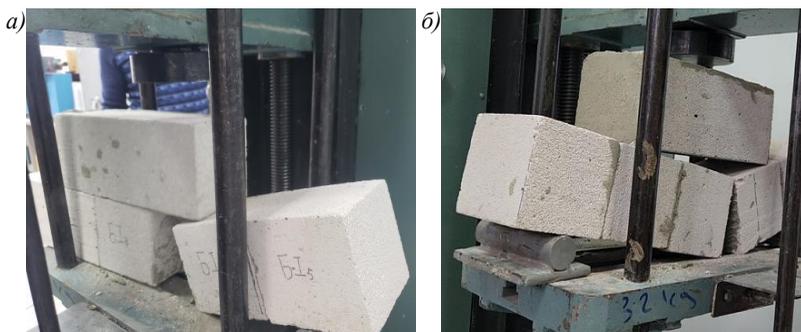


Рис 3. Характер разрушения образцов после испытаний: *а* – образец на полиуретановом клее; *б* – образец на цементно-песчаном растворе

В таблице приведены результаты испытаний балок из ячеистобетонных блоков на изгиб.

*Таблица*

**Результаты испытаний образцов на изгиб**

№ п/п	Материал шва	Марка образца	Возраст образца, сут.	Размеры образца $b \times d \times h$ , мм	$N_{разр}$ , Н	$R_{сц}$ , МПа	Относительная прочность, %
1	Полиуретановый клей	Б1	3	100×100×500	9410	0,94	313
2	Цементно-песчаный раствор	БП	28		3030	0,3	100

Анализ результатов испытаний на прочность сцепления ячеистобетонных блоков и связующего материала при изгибе позволяет отметить следующее:

– разрушение изгибаемых балок из ячеистобетонных блоков, склеенных между собой клеевым составом, произошло по клеевому шву при растягивающих напряжениях в шве при изгибе, составляющих 0,3 МПа и 0,94 МПа;

– согласно СП [16] при напряженном состоянии характеризующимся растяжением при изгибе расчетное сопротивление кладки по неперевязанному сечению принимается равным 0,12 МПа. Таким образом, применение клеевого состава позволяет увеличивать расчетное сопротивление балки на растяжение при изгибе по сравнению с балкой, соединенной цементно-песчаным раствором, более чем в 3 раза.

### Библиографический список

1. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Новые технологии высокопоризованных бетонов // В сб.: Поробетон – 2005. Международная научно-практическая конференция. Сборник докладов. 2005. С. 6-16.
2. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства // В сб.: Наукоемкие технологии и инновации. Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 354-359.
3. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Сулейманов К.А. Энергоэффективные технологии газобетона для зеленого строительства // В сб.: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2015. С. 142-148.
4. Сулейманова Л.А., Ищенко К.М. Теплоизоляционные материалы. формированные теплоизоляционные материалы с использованием вспученного перлитового песка и отходов его производства // Saarbrucken : LAP LAMBERT, 2012. 148 с.
5. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Ковалева М.А. Торфодревесные теплоизоляционные строительные материалы. – Томск: Scientific and technical translations, 2009. 183 с.
6. 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. 34-42.
7. Сулейманова Л.А., Марушко М.В., Лукьяненко А.К. Строительная система из газобетона для реконструкции зданий // Университетская наука. 2018. № 1 (5). С. 21-24.
8. Сулейманова Л.А. Неавтоклавный пеногазобетон на основе сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 73-80.
9. Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Конушева В.В., Сыркин О.О. Технологические приемы уменьшения усадки неавтоклавного пенобетона и повышения класса по прочности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 129-139.
10. Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Жилищное строительство в России // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2017. № 4. С. 61-67.
11. Сулейманова Л.А. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических. – Белгород, 2013. 39 с.

12. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В., Марушко М.В. Теплоизоляционный композит на основе местных неорганических наполнителей // В сб.: Научное развитие технологий и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 185-189.

13. Сулейманов К.А., Погорелова И.А., Рябчевский И.С. Повышение теплотехнической однородности стен из ячеистобетонных блоков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 5. С. 17-24.

14. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A. Energy efficiency improvement of aerated concrete block wall fences // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 012006. DOI 10.1088/1757-899X/945/1/012006.

15. Научно-технический отчет по теме: «Проведение исследований конструкций из ячеистобетонных блоков производства ЗАО «Аэробел» на клею для сейсмостойких СТСН зданий». Смирнов В.А., Грановский А.В., Джамуев Б.К.М. 2011. 72 с.

16. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81.

## **СРАВНЕНИЕ НАГРУЗОК ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ СТАЛЬНОЙ ФЕРМЫ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЗАМКНУТЫХ ГНУТО-СВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ**

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

**Жилин Д.А., магистрант,**

**Черских Д.Ю., магистрант**

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

Одним из ключевых требований при проектировании строительных конструкций является обеспечение их надежности. Надежность означает способность конструкции сохранять свои функции на протяжении всего расчетного срока службы. Главное условие для достижения надежности заключается в том, чтобы несущая способность элемента была выше максимальных значений усилий, возникающих от расчетных нагрузок.

В основные расчетные сочетания нагрузок в обязательном порядке включается постоянная нагрузка, обусловленная собственным весом конструкций. Для перевода нормативного значения нагрузки в расчетное применяется коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ . Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», коэффициент надежности

для металлических конструкций составляет 1,05. Как показывает опыт выполнения расчетов, для стальных балок разница между нормативной и фактической расчетной нагрузкой от собственного веса обычно не превышает 5 %, в то время как для ферм это отклонение может быть существенно больше.

Металлические фермы покрытий нашли широкое применение как в промышленных, так и в гражданских зданиях. Они могут быть выполнены из различных профилей с разным типом соединений узлов, что зависит от их назначения, действующих нагрузок и конфигурации здания.

На протяжении длительного времени легкие стальные фермы проектировались с использованием стержней, состоящих из пары уголков. Такие сечения предлагают широкий диапазон площадей и удобны для создания узлов с фасонными элементами. Для ферм, выполненных из труб, оптимальными являются узлы без применения фасонных деталей, то есть с прямым соединением стержней.

В настоящее время проектировщиками для расчета ферм покрытия применяются программно-вычислительные комплексы, например, ЛИРА-САПР. В этой программе и в других подобных моделирование как самой конструкции, так и узлов осуществляется в упрощенном варианте созданием расчетной схемы фермы из стержней. Поэтому при таком подходе фактическая масса фермы, определяемая при конструировании, может отличаться от нормативной, автоматически определяемой в расчетной программе зависимости от выбранных сечений, более чем на 5 %.

С целью определения возможной разницы было выполнено количественное сравнение нагрузок от собственного веса, полученных при автоматизированном статическом расчете и конструировании стальной фермы покрытия из замкнутых гнуто-сварных профилей.

Для создания расчетной модели был использован программный комплекс ЛИРА-САПР. Исследуемая ферма обладает следующим набором параметров:

- пролет 18 м;
- верхний пояс сечением 160×120×4 мм;
- нижний пояс 120×4 мм;
- раскосы выполнены из замкнутого гнуто-сварного профиля 80×3 и 100×4 мм.

Расчетная схема фермы в пространственном виде, полученная путем задания жесткостей стержневым элементам, для автоматизированного программного расчета представлена на рис. 1.

Для нахождения нагрузки от собственного веса фермы было создано соответствующее загрузение. Нагрузка от элементов была задана автоматически на основании ранее заданных характеристик жесткостей.

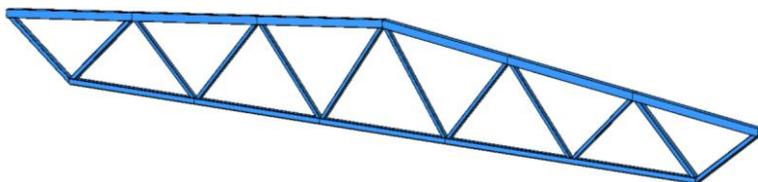


Рис. 1. Пространственная расчетная модель фермы в ЛИРА-САПР

Через использование функции суммирование нагрузок было определено, что полный расчетный вес фермы в осях составляет 756 кг.

Определение веса рассматриваемой фермы с учетом конструирования было выполнено с использованием программного комплекса Tekla Structures. Данное приложение имеет широкое распространение как на зарубежном, так и на отечественном рынке. Основное назначение заключается в моделировании стальных конструкций с использованием BIM-среды. Данная программа позволяет выполнять 3D модель конструкций с высокой степенью детализовки элементов и узлов их сопряжения.

Вес фермы при конструировании и детализовке помимо элементов поясов и раскосов включает в себя также массу элементов узлов. Такими элементами могут выступать дополнительные стальные пластины (фланцы, ребра) для конструирования опорных и монтажных узлов. В случае ферм из уголков дополнительные элементы так же используются для соединения элементов поясов и раскосов между собой.

Для фермы пролетом 18 м необходимо разбивать ее на отправочные марки, которые соединяются между собой по прибытии на строительную площадку непосредственно перед монтажом. Пространственная модель со всеми узлами, смоделированная в Tekla, представлен на рис. 2.

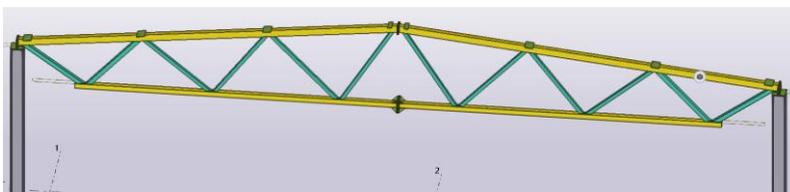


Рис. 2. Пространственная модель в Tekla

После создания модели фермы и проработки и детализации узлов автоматическим путем была сгенерирована ведомость металлопроката, которая содержит информацию о массе всех элементов, входящих в состав фермы. Данная ведомость из Tekla представлена в виде табл. 1.

После получения результатов веса ферм из двух программных комплексов возможно проанализировать и сделать вывод об отличии

массы фермы, применяемой в расчете, от той, которая близка к действительной.

Таблица 1

**Ведомость металлопроката из Tekla Structures**

<b>Ведомость металлопроката</b>				
Профиль	ГОСТ, ТУ	Масса нетто, кг	Масса брутто, кг	Марка стали
Труба ПК 80x3.0	ГОСТ 32931-2015	1216	1216	C255
Труба ПК 100x4.0	ГОСТ 32931-2015	83.2	83.2	C345-3
Труба ПК 120x4.0	ГОСТ 32931-2015	217.0	217.0	C345-3
Труба ПП 160x120x4.0	ГОСТ 32931-2015	302.8	302.8	C345-3
Лист толщиной 5 мм	ГОСТ 19903-2015	12	12	C255
Лист толщиной 6 мм	ГОСТ 19903-2015	22.8	22.8	C255
Лист толщиной 16 мм	ГОСТ 19903-2015	16	16	C255
Лист толщиной 20 мм	ГОСТ 19903-2015	85.8	85.8	C255
Лист толщиной 22 мм	ГОСТ 19903-2015	310	310	C255
<b>Итого:</b>		<b>867.0</b>	<b>867.0</b>	

По результатам численного исследования вес фермы в ЛИРА-САПР составляет 756 кг. Данное значение соответствует общей массе стержневых элементов фермы. Масса поясов и раскосов в Tekla составляет 724,6 кг. Расхождение связано с тем, что в ЛИРА-САПР длина раскосов равна расстоянию между узлами в расчетной схеме, а не фактическому расстоянию между точками крепления к поясам.

Согласно ведомости металлопроката, полная масса модели фермы с учетом всех дополнительных деталей составляет 867 кг. Сравнивая полученные значения массы ферм, получим, что разница составляет 111 кг или 12,8%.

Как отмечалось ранее согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» коэффициент надежности по нагрузке для собственного веса металлических конструкций равен значению 1,05. Соответственно, согласно приведенному нормативному документу, фактический расчетный вес фермы не должен отличаться от нормативного значения более чем на 5%. В нашем случае масса, которая будет применяться для расчета составит 793,8 кг, в то время как фактическая масса, полученная по результатам конструирования, равна 867 кг. Тогда разница между действительной массой и массой конструкции с учетом коэффициента надежности для собственного веса составляет 73,2 кг или 8,4%.

Для нивелирования вышеотмеченной разницы значение коэффициента надежности по нагрузке от собственного веса для данной фермы должно быть увеличено на 8,4%. Так как для фермы из ЗГСП

разница между фактическим и расчетным весом больше той, что закладывается через коэффициент надежности в нормативном документе, то предполагается, что данное значение расхождения масс для ферм из уголков будет больше, так как для конструирования таких ферм используется большее количество дополнительных деталей.

Таким образом, путем анализа и сравнения моделей фермы, используемых соответственно при автоматизированном программном расчете и при конструировании, было определено, что для таких стальных конструкций как ферма, для выполнения расчета необходимо закладывать большее значение коэффициента запаса по нагрузке для собственного веса, чем требуется согласно СП 20.13330.2016. А именно, вместо коэффициента величиной 1,05 в данном рассматриваемом случае для расчета необходимо было принимать значение 1,13. Данное исследование направлено на повышение точности расчетов и, как следствие, надежности проектируемых металлических ферм покрытия.

### **Библиографический список**

- Инькова В.А., Солодов Н.В. Исследование напряженно-деформированного состояния бесфасоночных узлов трубчатых ферм // Современные проблемы науки и образования. 2013. - №6. – С.32-46.
- Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Под ред. Ю.И. Кудишина. М.: «Академия», 2006. 688 с.
- Ухин А.В. Напряженно деформируемое состояние узлов ферм из замкнутых гнутосварных профилей: дисс. ...канд. Тех. Наук: 05.23.01. - М., 1984. -2014 с.
- Пронин В.В. Системы покрытия с применением ферм из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения. Конструирование и расчет [Текст]: учеб. пособ. / В.В. Пронин, М.А. Агеева, А.И. Колесов; Нижегород. гос. архитектур. -строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. – 114 с.
- Ерков В. Е., Наумкина Ю. В. Оптимизация конструктивного решения металлической стропильной фермы по критерию массы // ИВД. 2022. №5 (89).
- Ихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. -319с.
- Илин, Д. А. Оценка коэффициента надежности по нагрузке от собственного веса металлических ферм покрытия / Д. А. Жилин // IX Международный студенческий строительный форум - 2024: Сборник докладов форума, Белгород, 29 ноября 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 45-48.

## ПОДБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ

Юрьев А.Г., д-р техн. наук, проф.,  
Смоляго Н.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Подбор материала является одной из сторон синтеза несущих конструкций. Задача решается на основе вариационного принципа синтеза деформируемых систем, вытекающего из общезначимого принципа стационарного действия [1, 2]. Модуль деформации является функцией континуума и входит в дополнительное условие, представленное уравнением связи. Изопериметрической задаче свойственна двойственность постановки [3]. В алгоритме решения задачи синтеза условие прочности входит в контроль неучтенных ограничений.

В качестве примера рассмотрим консоль длиной  $l$ , нагруженную силой  $F$  (рис. 1). При заданных размерах сечения  $b$  и  $h$ , прогибе свободного конца  $v_0$  определим модуль  $E(x)$ . Такую композицию можно создать, например, на базе бетонов различных классов.

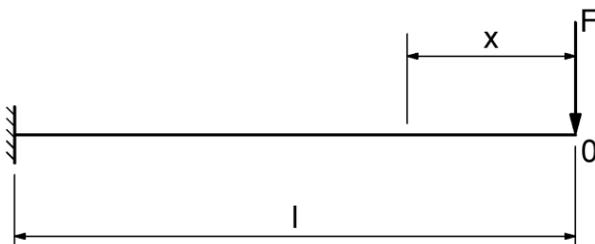


Рис. 1. Консоль

Потенциальную энергию деформации  $U$  поставим в зависимость от изгибающих моментов  $M(x)$  и параметра  $E(x)$ :

$$U = \int_0^l \frac{M^2(x) dx}{2E(x)I} = \int_0^l \frac{6(Fx)^2 dx}{E(x)bh^3}. \quad (1)$$

Прогиб конца консоли  $v = \partial U / \partial F$  представляется в виде:

$$v = \frac{12F}{bh^3} \int_0^l \frac{x^2 dx}{E(x)}. \quad (2)$$

Формирование функционала ведем на основе функции интегрального модуля:

$$\tilde{E} = bh \int_0^l E(x) dx + \mu_1 \left[ \frac{12F}{bh^3} \int_0^l \frac{x^2 dx}{E(x)} - v_0 \right]. \quad (3)$$

Условие его стационарности представляем в виде:

$$\delta \tilde{E} = \frac{\partial \tilde{E}}{\partial E(x)} \delta E(x) + \frac{\partial \tilde{E}}{\partial \mu_1} \delta \mu_1 = 0. \quad (4)$$

Из условия  $\partial \tilde{E} / \partial E$  вытекает уравнение:

$$1 - \mu_1 \frac{12F}{b^2 h^4} \times \frac{x^2}{E^2(x)} = 0, \quad (5)$$

откуда

$$E(x) = \frac{2x}{bh^2} \sqrt{3F\mu_1}. \quad (6)$$

Для определения множителя  $\sqrt{\mu_1}$  используем условие  $\partial \tilde{E} / \partial \mu_1 = 0$ , из которого вытекает уравнение:

$$\frac{6F}{bh} \sqrt{\frac{b}{3F\mu_1}} \int_0^l x dx - v_0 = 0, \quad (7)$$

откуда

$$\sqrt{\mu_1} = \frac{l^2}{hv_0} \sqrt{3F}. \quad (8)$$

Модуль принимает окончательный вид:

$$E(x) = \frac{6Fl^2}{bh^3 v_0} x. \quad (9)$$

Интегральный модуль имеет вид:

$$\tilde{E} = \frac{3Fl^4}{h^2 v_0}. \quad (10)$$

Двойственная постановка задачи состоит в предположении, что этот интегральный модуль задан. Функционал прогиба имеет вид:

$$v = \frac{12F}{bh^3} \int_0^l \frac{x^2 dx}{E(x)} + \mu_2 \left[ bh \int_0^l E(x) dx - \frac{3Fl^4}{h^2 v_0} \right]. \quad (11)$$

Условие его стационарности представляем в виде:

$$\delta v = \frac{\partial v}{\partial E(x)} \delta E(x) + \frac{\partial v}{\partial \mu_2} \delta \mu_2. \quad (12)$$

Из условия  $\partial v / \partial E(x) = 0$  вытекает уравнение:

$$-\frac{12F}{bh^3} \frac{x^2}{E^2(x)} + \mu_2 bh = 0, \quad (13)$$

откуда

$$E(x) = \frac{2x}{bh^2} \sqrt{\frac{3F}{\mu_2}}. \quad (14)$$

Для определения множителя  $\sqrt{\mu_2}$  используем условие  $\partial v / \partial \mu_2 = 0$ , из которого вытекает уравнение:

$$\frac{2}{h} \sqrt{\frac{3F}{\mu_2}} \int_0^l x dx - \frac{3Fl^4}{h^2 v_0} = 0, \quad (15)$$

откуда

$$\sqrt{\mu_2} = \frac{1}{\sqrt{3F}} \frac{h v_0}{l^2} \left( = \frac{1}{\sqrt{\mu_1}} \right). \quad (16)$$

Модуль принимает окончательный вид:

$$E(x) = \frac{6Fl^2}{bh^3 v_0} x, \quad (17)$$

что совпадает с результатом первой постановки задачи.

Напряжения в бруске равны:

$$\sigma = \frac{6Fx}{bh^2}. \quad (18)$$

Предположив расчетное сопротивление как  $R = kE$ , где  $k$  – эмпирический коэффициент, представим условие прочности в виде:

$$\frac{6Fx}{bh^2} \leq \frac{6kFl^2 x}{bh^3 v_0}, \quad (19)$$

откуда

$$k \geq \frac{h v_0}{l^2}. \quad (20)$$

Если эта величина превышает физическую характеристику  $R/E$ , необходимо увеличить размеры сечения и провести новый расчет. В то же время можно использовать дисперсное армирование волокнистыми композитами, которое в незначительной мере изменит величину  $E(x)$  и не приведет к итерациям. Параметрами армирования являются длина и диаметр сечения волокон и процент их содержания [4, 5].

### Библиографический список

1. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90с.
2. Юрьев А.Г. Оптимизация топологии и геометрии конструкций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 96с.
3. Лавреньев М.А., Люстерник Л.А. Курс вариационного исчисления. М.-Л.: Гостехиздат, 1960. 296с.
4. Ritchie P.A., Thomas D.A., Le-Wu Lu, Connelly G.M. External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics // ACI Structures Journal. 1991. No 4. Pp. 490 - 499.
5. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 184с.

## КОНФИГУРАЦИЯ И МАТЕРИАЛ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЗИЦИЙ ВАРИАЦИОННОГО ПРИНЦИПА СТАЦИОНАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Юрьев А.Г., д-р техн. наук, проф.

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

Организмы представляют собой материю, достигшую особой специфической организации с проявлением законов физики. Обобщенной формой выражения детерминизма в физике является принцип стационарного действия [1]. Его приемлемость для органического мира выдвигает практическую цель – создание искусственных систем, приближенных к природным объектам [2].

Способность элемента конструкции сопротивляться деформации (растяжению, изгибу, кручению и др.) определяет жесткость. Она зависит от характеристик сечения и физических (в первую очередь, механических) свойств материала (модулей упругости и др.).

Для синтеза системы приемлем вариационный принцип стационарного действия в форме принципа Лагранжа и Кастильяно, обобщенный за счет функций конфигурации системы и модулей материала [3].

При проектировании дискретных систем из линейно-упругого материала предпочтительно использовать обобщенный вариационный принцип Кастильяно. Решение изопериметрической задачи для фермы ведем при дополнительном условии: в виде уравнения связи:

$$\sum_{i=1}^n B_i l_i = \widetilde{B}_0, \quad (1)$$

где  $n$  – число стержней длиной  $l_i$ , имеющих жесткость  $B_i$ ,  $\widetilde{B}_0$  – заданная обобщенная жесткость.

Функционал представляется в следующем виде:

$$J = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2 l_i}{2B_i \varphi_i^2} + \mu (\sum_{i=1}^n B_i l_i - \widetilde{B}_0), \quad (2)$$

где  $N_i$  – продольные усилия,  $\varphi_i$  – коэффициент уменьшения расчетного сопротивления  $R$  для сжатых стержней,  $\mu$  – множитель Лагранжа, имеющий в данном случае постоянную величину. Жесткость  $B_i$  есть произведение модуля Юнга  $E_i$  на площадь поперечного сечения  $A_i$ .

Из стационарности функционала вытекают традиционные для принципа Кастильяно уравнения, уравнение связи, а также специфические уравнения структурообразования, которые выражают критерий рациональности системы.

Условие стационарности функционала представляется в виде:

$$\delta J = \frac{\partial J}{\partial N_i} \delta N_i + \frac{\partial J}{\partial B_i} \delta B_i + \frac{\partial J}{\partial \mu} \delta \mu = 0. \quad (3)$$

Из условий  $\frac{\partial J}{\partial B_i} = 0$  вытекают уравнения:

$$\frac{N_i^2}{2B_i^2 \varphi^2} = \mu (=const), \quad (4)$$

или

$$\frac{1}{2} \frac{\varepsilon_i^2}{\varphi^2} = \mu (=const), \quad (5)$$

где  $\frac{\varepsilon_i}{\varphi} = \tilde{\varepsilon}_i$  – квазидеформация.

В итоге рациональная система оказывается квазиравнодеформируемой. При однородном материале ( $E_i = const$ ) жесткость  $B_i$  оказывается равной  $EA_i$ . Следовательно,

$$\frac{N_i^2}{2EA_i^2 \varphi^2} = \mu (=const), \quad (6)$$

или

$$\frac{1}{2E} \frac{\delta_i^2}{\varphi^2} = \mu (=const), \quad (7)$$

где  $\frac{\sigma_i}{\varphi} = \tilde{\sigma}_i$  – квазинатяжение. В этом случае рациональная система оказывается квазиравнонапряженной (обобщение теоремы Васютинского [4] с учетом устойчивости сжатых стержней).

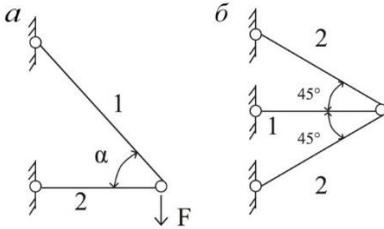


Рис. 1. Проекция фермы на вертикальную (а) и горизонтальную (б) плоскости

Рассмотрим трехстержневую консольную ферму вылетом  $b$ , нагруженную силой  $F$  (рис. 1). При заданном перемещении узла  $\vartheta_0$  определим жесткости стержней.

Потенциальная энергия деформации имеет вид:

$$U = \sum_{i=1}^3 \frac{N_i^2 l}{2B_i}, \quad (8)$$

где  $N_1 = F/\sin\alpha$ ;  $N_2 = -0,707F\text{ctg}\alpha$ .

Перемещение узла

представим в виде:

$$\vartheta = \frac{N_1 \bar{N}_1 l}{B_1 \cos\alpha} + \frac{2N_2 \bar{N}_2 l \sqrt{2}}{B_2 \varphi^2}, \quad (9)$$

где  $\bar{N}_1, \bar{N}_2$  – усилия от  $F=1$ .

При заданном перемещении  $\vartheta_0$  функционал имеет вид:

$$J = \frac{B_1 l}{\cos\alpha} + 2\sqrt{2}B_2 l + \mu F l \left( \frac{1}{B_1 \sin^2 \alpha \cos\alpha} + \frac{2 \cdot 0,707^2 \sqrt{2} \text{ctg}\alpha}{B_2 \varphi^2} - \vartheta_0 \right). \quad (10)$$

Условие его стационарности представляется в виде [5]:

$$\delta J = \frac{\partial J}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial J}{\partial B_1} \delta B_1 + \frac{\partial J}{\partial B_2} \delta B_2 + \frac{\partial J}{\partial \mu} \delta \mu = 0. \quad (11)$$

Из условий  $\frac{\partial J}{\partial \alpha} = 0, \frac{\partial J}{\partial B_1} = 0, \frac{\partial J}{\partial B_2} = 0, \frac{\partial J}{\partial \mu} = 0$  вытекают уравнения:

$$\frac{B_1 l \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \mu F l \left( \frac{1}{B_1} \frac{2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{\sin^3 \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{B_2 \varphi^2} \frac{2 \sqrt{2} \operatorname{ctg} \alpha}{\sin^2 \alpha} \right) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{1}{\cos \alpha} - \mu F \frac{1}{B_1^2 \sin^2 \alpha \cos \alpha} = 0, \quad (13)$$

$$2 \sqrt{2} - \mu F \frac{2 \cdot 0,707^2 \sqrt{2} \operatorname{ctg}^2 \alpha}{B_2^2 \varphi^2} = 0, \quad (14)$$

$$F l \left( \frac{1}{B_1 \sin^2 \alpha \cos \alpha} + \frac{2 \sqrt{2} \operatorname{ctg}^2 \alpha}{B_2 \varphi^2} \right) - \vartheta_0 = 0. \quad (15)$$

При исходных данных:  $l=3\text{м}, F=20\text{ кН}, \vartheta_0 = 1,5\text{ см}$  и назначенном коэффициенте  $\varphi=0,5$  искомые величины равны:  $\alpha = 65^\circ, B_1 = 2 \cdot 10^7\text{Н}, B_2 = 1,32 \cdot 10^7\text{Н}, \mu = 1,55 \cdot 10^{10}\text{Н}$ . Для стержня 1 принимают сталь с модулем  $E_1 = 2 \times 10^5\text{МПа}$  (расчетное сопротивление  $R_1=230\text{МПа}$ ), при котором площадь сечения равна  $A_1=1\text{ см}^2$ . Для стержня 2 принимают древесно-волоконистую трубу диаметром 10 см, толщиной 1 см (площадь сечения  $18,8\text{ см}^2$ ) с модулем  $E_2 = 7 \cdot 10^3\text{МПа}$  и расчетным сопротивлением  $R_2=4,7\text{ МПа}$ . Минимальный радиус инерции составляет 3,2 см, гибкость – 94, что соответствует принятому коэффициенту  $\mu = 0,5$  (отклонение 2,2 %).

Напряжения:  $\sigma_1 = 218\text{ МПа}, \sigma_2 = 0,34\text{ МПа}$  не превышают расчетных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. Соблюдается состояние системы, близкое к квазиравноформируемому, поскольку  $\tilde{\varepsilon}_1 = \varepsilon_1 = 1,09 \cdot 10^{-3}, \tilde{\varepsilon}_2 = |\varepsilon_2|/\varphi = 0,97 \cdot 10^{-3}$ .

### Библиографический список

1. Вариационные принципы механики/ Под ред. Л.С. Полака. Москва ГИЭМЛ, 1959. 932с.
2. Юрьев А.Г. Естественный фактор оптимизации конструкций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2003. 110с.
3. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.
4. Wasiutynski Z, On the congruency of the forming according to the minimum potential energy with that according to the equal strength// Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences. Serie des Sciences techniques. 1960.V.8. No 6. Pp. 259-268.
5. Лаврентьев М.А., Люстерник Л.А. Курс вариационного исчисления. Гостехиздат, 1960. 296 с.

# НАПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ

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

Виртуальная реальность (VR) создает интерактивные и увлекательные уроки, что повышает мотивацию учащихся и делает процесс обучения более эффективным.

Образовательные пространства с использованием технологий VR помогают учащимся через деловые игры развивать навыки решения проблем, критического мышления, способствуют более глубокому пониманию учебного материала [1].

VR-технологии позволяют визуализировать, просматривать и исследовать любые понятия и объекты. Обучение в виртуальной реальности (VR) является отличным способом научить студентов тонкостям определенной отрасли или навыка [2, 4, 6].

VR деловая игра «RU СТРОЙКА VR» решает две задачи:

1. Формирование системного понимания специализированной строительной техники.
2. Освоение методов проектирования и испытаний железобетонных (ЖБ) конструкций через практико-ориентированные задания (рис. 1).



Рис. 1. VR деловая игра «RU СТРОЙКА VR»

Студентам и преподавателю предоставлена возможность, погрузиться в виртуальную среду и наглядно изучить технику [7].

Машины сгруппированы по производственному назначению. В каждой группе рассмотрены наиболее характерные типы машин, дающие представление о состоянии и направлениях развития механизации и автоматизации данного вида работ, а также о их назначении, области применения, устройстве и происходящих рабочих процессах [2, 3, 5].

Интерактивная экспозиция строительной техники позволяет знакомиться со средствами механизации строительства (рис. 2).



Рис. 2. Обзор техники - меню

Первый модуль реализован как виртуальная стоянка спецтехники, где каждая модель (краны, экскаваторы, тракторы и т.д.) воссоздана в масштабе 1:1 с фотореалистичной детализацией (рис. 3).



Рис. 3. Обзор техники - площадки

Виды техники по функциональному назначению (для земляных, бетонных работ, грузоподъемная, транспортная) сопровождаются аудиолекциями, активируемыми при приближении к информационным стендам. Каждый аудиогид длительностью 2-3 мин раскрывает технические характеристики техники (грузоподъемность, габариты, область применения), принципы работы ключевых узлов, а также примеры использования в типовых строительных проектах. Проведение лабораторных работ в виртуальной среде не менее увлекательно.

Второй модуль - виртуальный испытательный комплекс железобетонных конструкций (ЖБ) имитирует лабораторию для испытания железобетонной балки на чистый изгиб (рис. 4).

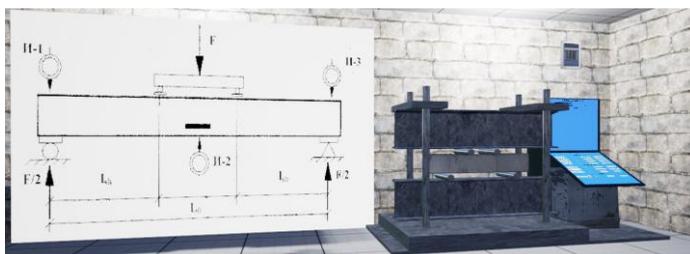


Рис. 4. Виртуальный испытательный комплекс железобетонных конструкций

В режиме работы предусмотрен автоматический запуск 10-минутной аудиолекции об основах проектирования ЖБ конструкций и нормативах СП (рис. 5).



Рис. 5. Стенд лекционный

Затем получение задания для выполнения:

1. Исходные данные: размеры балки, класс бетона, армирование, нагрузка.
2. Расчет параметров: определение момента сопротивления, выбор арматуры, проверка по предельным состояниям (нормальные сечения).
3. Ввод результатов в VR-стенд: пользователь вносит данные в интерфейс, после чего система моделирует испытание, визуализируя деформации, трещинообразование и разрушение.
4. Оценка: алгоритм сравнивает расчеты студента с эталонными значениями, генерируя отчет с рекомендациями.

Преподаватели могут отслеживать активность студентов, на основании сформированных отчетов о проделанной работе после прохождения блоков.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что виртуальная реальность, является идеальной обучающей средой, которая

обеспечивает погружение пользователя в трехмерную среду изучаемого явления или процесса. Разработанная VR деловая игра «RU СТРОЙКА VR» подтверждает эффективность VR как инструмента трансформации строительного образования.

Важно провести дальнейшее исследование текущего использования VR для профессионального обучения, чтобы понять текущие перспективы и основные потенциальные препятствия.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова Л.А., Мирошников Д.А. Применение технологии виртуальной реальности в профессиональной подготовке будущих инженеров-строителей // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 2. – С. 201-206.

2. Сулейманова, Л. А. Средства механизации строительства: учебное пособие / Л. А. Сулейманова, М. В. Марушко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. – 134 с.

3. Безган Д., Сошкин А. Использование Vr технологии при подготовке специалистов строительного профиля // Педагогическая наука и практика. 2019. №3 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vr-tehnologii-pri-podgotovke-spetsialistov-stroitel'nogo-profilya>.

4. Лесовик В. С., Гладков Д. И., Сулейманова Л. А. Ролевые деловые игры со студентами в условиях реального производственного процесса. - Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2001. - 222 с.

5. Преимущества использования виртуальной реальности для профессионального обучения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vr-app.ru/blog/preimushhestva-ispolzovaniia-virtualnoi-realnosti-dlia-professionalnogo-obuceniia/?ysclid=lo4ljazrni142821560>.

6. Мокроусова, О. А. Деловые игры как форма профессионального обучения при изучении дисциплин строительного профиля / О. А. Мокроусова // Теория и практика профессионального образования: педагогический поиск: сборник научных трудов. Вып. 9 / [Рос. гос. проф.-пед. ун-т и др.]. - Екатеринбург, 2007. - С. 86-91.

7. Крючков А.А., Мирошников Д.А. Создание 3D-моделей и перенос в виртуальную реальность в приложениях Blender и Unreal Engine при разработке VR-деловой игры по направлению «Строительство» // IX Международный студенческий строительный форум: - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 135-141.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОИМОСТИ И СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА

Курочкин И.Н., магистрант,  
Волкодав И.А., канд. техн. наук, доц.  
*Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия*

При возведении зданий и сооружений важным аспектом является достижение экономической эффективности проекта. В рамках данной темы в качестве объекта капитального строительства рассматривается индивидуальный жилой дом (в дальнейшем ИЖД). Для определения экономической эффективности строительства ИЖД необходимо сформировать стоимостную информационную модель, с помощью которой производится предварительная оценка стоимости и сроков строительства, данный метод позволяет ускорить сметный расчет и провести сравнительную оценку стоимости для различных конструктивных схем с использованием разных материалов.

Актуальность данной темы согласно с источником [1] обусловлена тем, что она направлена на решение основных задач, которые указаны в [1]: улучшение жилищных условий не менее 5 млн семей ежегодно; увеличение объема жилищного строительства не менее чем до 120 млн м<sup>2</sup> в год; модернизация строительной отрасли и повышение качества жилья; обеспечение эффективного использования земель и пр.

В соответствии с источником [2] актуальность заключается в том, что необходимо осуществлять формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства в отношении индивидуальных жилых домов, когда подготовка проектной документации является обязательной в соответствии с Градостроительным кодексом РФ или застройщиком принято решение о подготовке проектной документации в отношении указанных индивидуальных жилых домов, обеспечиваются застройщиком или техническим заказчиком, осуществляющими деятельность в соответствии с Федеральным законом «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации».

Суть информации, которая содержится в источнике [3], направлена на развитие индивидуального жилищного строительства (далее ИЖС), в соответствии с этим письмом актуальность данной работы заключается в следующем: повышение качества и доступности жилья для граждан РФ через развитие ИЖС; внедрение передовых технологий в сферу ИЖС и ограничение устаревших; для определенных категорий граждан

осуществляется финансовая и кредитная поддержка при покупке или строительстве ИЖД, предоставляются бесплатные земельные участки.

Таким образом, постановления Правительства РФ и федеральные программы, указанные выше, подтверждают актуальность данной темы.

Так же для подтверждения актуальности данной темы, приведем в пример статью [4], в которой рассмотрены перспективы развития, программы поддержки, проблемы и тенденции развития малоэтажного и индивидуального строительства. Основные преимущества данного строительства: ценовая доступность, малые сроки строительства, экологически благоприятные зоны, низкая плотность населения, возможность возведения жилья по индивидуальному проекту, возможность строительства на слабых грунтах.

Целью работы является создание стоимостной модели ИЖД с применением цифровой информационной модели (ЦИМ).

Чтобы достичь поставленную цель были определены следующие задачи:

1. Осуществить анализ нормативно-правовой, нормативно-технической и справочной документации по теме исследовательской работы.

2. Изучить методы и способы оценки стоимости строительства.

3. Произвести сравнительный анализ существующих сервисов по определению стоимости строительства ИЖД из различных материалов.

4. Создать модель ИЖД с использованием информационного моделирования для определения стоимости строительства.

5. Произвести локальный сметный расчет с применением BIM-модели.

6. Разработать алгоритм формирования сметной стоимости с использованием классификатора строительной информации (далее КСИ) и BIM- модели.

Объект исследования – ценообразование в сфере индивидуального жилищного строительства. Предмет анализа – рынок проектирования и строительства ИЖД.

Научная новизна исследования определяется созданием экономической информационной модели по определению сметной стоимости строительства ИЖД, которая отвечает нормативному ценообразованию и, согласно, сравнительному анализу, отличается от аналогичных продуктов множеством вариантов конструирования, использованием различных материалов.

Теоретическая ценность работы определяется тем, что она позволит развить определение стоимости строительства на ранних этапах (до полноценной разработки проекта), что сэкономит время как заказчика, так и проектных организаций, при этом данная экономическая модель может служить базой для определения сметной стоимости строительства

как для зданий промышленного назначения, так и для гражданского.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью использовать результат (продукт) данной работы, то есть экономическую модель, при определении стоимости и сроков строительства ИЖД из различных конструкций.

Методы исследования: сравнительный анализ существующих сервисов по определению стоимости строительства; анализ источников информации (сметные нормативы – ФГИС ЦС, классификатор строительной информации – КСИ); сравнение строительных конструкций, используемых при возведении ИЖД.

Создание калькулятора для информационного моделирования стоимости и технологий строительства индивидуального жилого дома необходимо для того, чтобы оптимизировать, а также автоматизировать некоторые процессы проектирования и взаимодействия с заказчиком. Данный информационный ресурс необходим для того, чтобы улучшить качество услуг, которые предоставляет строительная или проектная компания в сфере индивидуального жилищного строительства.

Именно поэтому был проведен обзор и анализ доступных электронных ресурсов, сайтов и сервисов, предназначенных для определения стоимости строительства ИЖД, ниже представлен их перечень с коротким описанием и анализом.

1. На электронном ресурсе «Standard-S» [5] представлен модуль, который компания предлагает установить строительным компаниям на их сайты. Модуль Standard-S представляет собой развернутый каталог проектов домов, которые, исходя из информации со страницы сайта, регулярно дополняются и обновляются, с конфигуратором смет. Данный сервис носит коммерческий характер и ориентирован на работу с юридическими лицами. Исходя из описания электронного ресурса «Standard-S», можно утверждать, что данный инструмент является эффективным при оценке стоимости и сроков возведения того или иного ИЖД, но его используют специалисты в сфере строительства, но заказчики напрямую им воспользоваться не могут, что можно выделить в качестве ключевого недостатка.

2. Рассмотрим портал «Свое Село» [6]. На данном сайте можно воспользоваться калькулятором для расчета строительства ИЖД. К достоинствам сервиса можно отнести удобный и понятный интерфейс, логику и порядок при выборе конструкций здания, а также вариативность сопутствующих работ. Недостатки сервиса заключаются в ограниченном выборе материалов, в отсутствии данных о расчете сметной стоимости, на сайте нет возможности рассчитать объем материалов, также данный сервис является инструментом, благодаря которому, пользователям сайта предлагают оформить ипотеку, следовательно, данный фактор также снижает уровень доверия к данной платформе.

3. Также отдельным пунктом рассмотрим ряд популярных сервисов для определения стоимости возведения частных домов, которые являются таковыми при отправлении запроса в поисковой строке браузера: «Inside-stroi» [7], «Villaexpert» [8], «Hauset» [9] и др. Принцип работы данных сервисов основан на однотипном алгоритме, по которому сначала предлагается выбрать варианты конструкций в соответствии с этапами выполнения работ, от возведения фундаментов до чистовой отделки. В качестве результата расчета представлена предварительная стоимость и предложение связаться с компанией для уточнения сметы. Основные преимущества: последовательность технологии строительства и скорость обработки данных. К недостаткам относятся: отсутствие информации о ценообразовании, низкая вариативность предложенных материалов, отсутствие информации о предварительных сроках выполнения работ.

4. На таких ресурсах, как «Story-Calc» [10] и «Бесплатный сервис расчета строительных материалов» [11] и на других, менее популярных сайтах, где можно воспользоваться строительным калькулятором, объем предоставляемой информации минимальный. На данных электронных ресурсах предлагается расчет количества строительных материалов, а также автоматизированный расчет определенных конструкций, а сметную стоимость строительства на них узнать нельзя.

Ниже указаны основные недостатки существующих инструментов для определения сроков и стоимости строительства ИЖД, которые необходимо решить для того, чтобы застройщики в сфере ИЖС получали более достоверную информацию и качество услуг, предоставляемых проектными и строительными компаниями.

1. В указанных сервисах отсутствует возможность задать исходные данные и условия строительства, поэтому заказчики, не обладая знаниями в сфере строительства, могут выбрать конструкции и материалы, которые не рекомендуется использовать в том или ином случае. Поэтому данный фактор оказывает значительное влияние на искажение результатов, которые представляются расчетом.

2. В основном, на сайтах отсутствует информация о ценообразовании и источниках, исходя из которых формируется сметная стоимость.

3. Также в результате расчета информация о сроках возведения ИЖД опускается, даже не указывается ориентировочный интервал времени строительства.

4. Еще одним общим недостатком вышеуказанных сервисов является отсутствие информации об объеме материалов, которые необходимы для строительства.

В рамках данной статьи основная работа была посвящена обзору и анализу существующих сервисов, сайтов и инструментов для

определения стоимости, и сроков строительства индивидуальных жилых домов. Данные сайты находятся в открытом доступе, ими может воспользоваться любой частный застройщик. При обзоре были рассмотрены самые популярные сайты и сервисы. Благодаря анализу были выявлены недостатки с точки зрения прозрачности ценообразования, функционала и вариативности выбора технологий и конструкций. Соответственно, при разработке электронного калькулятора для информационного моделирования стоимости, технологий и сроков строительства индивидуальных жилых домов, в рамках работы над выпускной квалификационной работой, будут учитываться все недостатки, которые были указаны выше.

### **Библиографический список**

1. Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2017 г. N 1710 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации" (с изменениями на 9 августа 2024 года).

2. Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» (с изменениями на 20 декабря 2022 года).

3. Письмо 26322-нс/07 о направлении программы развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации. Утвержден: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации; Минстрой России, 19.07.2019.

4. Саврадым В.М., Шулекина Е.Н. Перспективы развития малоэтажного строительства как приоритетного направления отрасли жилищного строительства // «Инновации и инвестиции» 2021. – №6 – С. 208-213.

5. Бизнес-решения для строительных компаний – «Standard-S» : сайт. – Москва, 2022. – URL: <https://standard-s.ru/> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

6. Калькулятор строительства на портале «Свое Село» : сайт. – Москва, 2021. – URL: <https://svoe-selo.ru/build-house> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

7. Калькулятор строительства дома – «Inside-stroi» : сайт. – Москва, 2010. – URL: <https://inside-stroi.ru/calculator/> (дата обращения: 25.03.2025). – Текст: электронный.

8. «Villaexpert»: сайт. – Москва, 2015. – URL: <https://villaexpert.ru/calcul/> (дата обращения: 25.03.2025). – Текст: электронный.

9. Калькулятор расчета строительства дома «Hauset»: сайт. – Санкт-Петербург, 2025. – URL: <https://hauset.ru/calculator/> (дата обращения: 25.03.2025). – Текст: электронный.

10. Профессиональные строительные калькуляторы «Story-Calc»: сайт. – Москва, 2011. – URL: <https://stroy-calc.ru/> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

11. Расчеты строительных материалов, строительные калькуляторы и конструкторы: сайт. – Москва, 2024. – URL: <https://www.zhitov.ru/> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ BIM-СИСТЕМ С ТЕХНОЛОГИЕЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

**Лимощенко В.А., студент,**

**Есинов С.М., канд. техн. наук, доц.**

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

С каждым годом все интенсивнее происходит внедрение BIM-технологий в строительную отрасль. Технология информационного моделирования ТИМ, или BIM (BIM) (от англ. Informational Modeling) – представляет собой концепцию проектирования, возведения, оснащения, обеспечения эксплуатации и ремонта здания, предполагающую сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматривается как единый объект.

Сегодня BIM технологии становятся новым стандартом в сфере архитектуры и строительства. Современные технологии способствуют развитию новых методов моделирования и проектирования зданий и сооружений. BIM не только упрощает процесс создания информационной модели здания, но и дает возможность визуально оценить масштабы и архитектурную идею создаваемого объекта.

Первые шаги на пути к становлению информационного проектирования были сделаны еще в XX в. В 60-е гг. начали появляться первые программы, перед которыми ставились, прежде всего, задачи моделирования объекта. На тот момент не представлялось возможным создание информационной составляющей проекта. Через пару

десятилетий, с развитием технологий, программы начали свое внедрение в проектную среду. Первой BIM программой стал ArchiCAD (1984), сохранявший лидерство до появления Revit в 2000 г. [1]. Активное развитие программ позволяло с каждым годом совершенствовать процесс создания и визуальной оценки зданий. Чуть позднее, на рынке информационных технологий стартовали технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, они открыли строителям новые возможности проектной работы. Благодаря VR и AR граница между физическим и виртуальным объектом становится минимальной. При объединении этих технологий Виртуальная реальность помогает не только визуализировать проект строительства, но и дает человеку возможность прочувствовать масштаб пространства, тем самым делая концепцию постройки более наглядной для специалистов разных сфер деятельности.

Технологии VR используются в едином информационном пространстве с BIM. В данном контексте VR рассматривается как созданный с помощью технического и программного обеспечения виртуальный проект, передающийся через зрение [2].

Перенесение информационной модели в виртуальное пространство помогает выявлять ошибки, тестировать различные варианты проектирования, значительно ускоряет процесс принятия проектных решений. На первых этапах развития данной идеи, осуществить этот самый перенос было большой задачей. Ввиду отсутствия программных средств для переноса проектов в виртуальную реальность, приходилось осуществлять его напрямую из BIM-систем. Первоначально требовалось подготовить созданную модель для экспорта в другие программы, которые позволяли преобразовать ее в 3D объект, который в свою очередь требовал использования комплекса прикладных программ, обеспечивающих графическую визуализацию, соблюдение физических эффектов и законов, передвижение в пространстве и многое другое [3]. После этого необходимо было устранить ошибки, возникшие при переносе модели. Конечным результатом этих действий являлся сложный полигональный объект, просмотр которого требовал достаточной производительности процессора и видеокарты [4]. На тот момент внесение изменений в BIM-модель в режиме работы в виртуальной реальности не представлялось возможным.

На сегодняшний день существует множество программных средств, обеспечивающих передачу BIM модели в виртуальную реальность. Например, Twinmotion – это программное обеспечение для 3D-архитектурной визуализации и рендеринга. Данное ПО обеспечивает прямую синхронизацию с такими программами, как Revit, ArchiCAD и SketchUp, позволяя пользователям вносить изменения в режиме реального времени. Для создания VR-видео, в качестве BIM-программы, пользователи используют ArchiCAD, в котором возможен экспорт

модели в Twinmotion вручную, сохраняя ее в виде файла. tma. База заранее подгруженных в программу текстур и объектов позволяют максимально визуализировать модель, что очень важно не только для архитекторов и дизайнеров, но и для заказчика. Twinmotion также позволяет работать с инструментами освещения и погоды, после чего можно создавать видео и рендеры, которые максимально интегрируют моделируемое здание в реальный мир.

Свое развитие также получил продукт под названием Prospect, который работает на базе программного обеспечения IrisVR. Данная программа совместима с HTC Vive и Oculus Rift, которые позволяют находиться в модели, используя виртуальные очки, а также вносить изменения в модель, пользуясь контроллерами – пультами, работающими совместно с виртуальными очками. Таким образом, программа позволяет не только визуально рассмотреть объект в натуральную величину, но и вносить правки и отмечать ошибки в режиме реального времени. Эти возможности, совместно с BIM программами, позволяют инженерам, конструкторам и архитекторам решить возможные проблемы еще на этапе моделирования объекта, улучшая конечный результат.

Технология виртуальной реальности получила свое развитие и в отечественных BIM-системах. Например, российский программный комплекс Renga позволяет просматривать модель в 3D-виде в шлеме виртуальной реальности Oculus Rift. Для переноса модели в виртуальную реальность не требуется сторонних программ, для этого в Renga изначально встроена команда "Виртуальная реальность", после ее включения, управление навигацией осуществляется с помощью клавиатуры и мыши или с помощью 3D-мыши. При переключении этих режимов, пользователь может вносить изменения в модель и сразу же оценивать их в натуральную величину. Виртуальная реальность в Renga хорошо реализована для быстрого просмотра создаваемого объекта, но для лучшей визуализации можно воспользоваться сторонними программами, отечественный комплекс позволяет очень просто это сделать. Renga обладает хорошей преемственностью не только с аналогичными BIM-системами, такими как Revit (рис. 1, 2), ArchiCAD и SketchUp, но и с программами для создания 3D-объектов и рендеринга, например, 3Ds Max. Для трансформации в VR дополнительная обработка модели не требуется, а времени тратится не больше, чем у аналогичных программ. После экспорта, возможности визуализации и использования оборудования для просмотра ничем не ограничены (рис. 1). Использование отечественно программного комплекса позволяет избежать минусов зарубежных аналогов, например, отсутствие системы государственных стандартов реализации проектов, ограниченная связь с другими промышленными платформами и проблемы с экспортом и импортом в сторонние программные комплексы [5].



Рис. 1. Модель, созданная в Renga

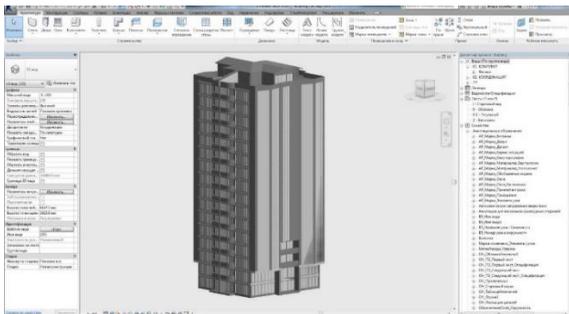


Рис. 2. 3D-модель, экспортированная из Renga в Revit



Рис. 3. Перевод модели из Renga в виртуальную среду

Подводя итоги, можно уверенно сказать, что применение современных цифровых технологий, таких как ТИМ (ВМ), дополненная и виртуальная реальность на стадиях проектирования и строительства позволит ускорить возведение, уменьшить трудовые и материальные

затраты на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов [6]. Развитие отечественных программ позволяет в полной мере пользоваться самыми современными методами моделирования и визуализации строительных объектов, позволяя достичь синергетического эффекта между программами и специалистами строительного производства.

### **Библиографический список**

1. Чегодаева М. А. Этапы формирования и перспективы развития BIM-технологий / Молодой ученый. – 2017. – № 10 (144). – С. 105-108.
2. Мирошников Д. А. Роль BIM-технологий, виртуальной, дополненной и смешанной реальности при реконструкции объектов капитального строительства / VIII Международный студенческий строительный форум - 2023: Сборник докладов VIII Международного студенческого строительного форума - 2023. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 134-141.
3. Козленко Т. А., Придвижкин С. В. BIM и VR: разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности / Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 4(80). – С. 440-449.
4. Згода Ю. Н., Семенов А. А., Вагер Б. Г. Особенности подготовки BIM-модели при создании фотореалистичной интерактивной визуализации в виртуальной и дополненной реальности / Вычислительные технологии. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 69-82.
5. Машковцев И. Б. BIM-технологии в современном строительстве / Системные технологии. – 2022. – № 2(43). – С. 48-56.
6. 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.

## **ТЕХНОЛОГИИ 3D ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Лобанов Д.В., ст. преп.,**

**Аносов С.В., студент**

*Воронежский государственный технический  
университет, г. Воронеж, Россия*

Современные строительные проекты требуют высокой степени точности и эффективности, особенно когда речь идет о сложных объектах, реконструкции зданий и модернизации инфраструктуры. Это требует применения сложных технических устройств и приборов. Одним

из ключевых инструментов, обеспечивающих достижение этих целей, является технология 3D лазерного сканирования [1, 2]. Этот метод позволяет создавать высокоточные цифровые модели объектов с минимальной погрешностью, что делает его незаменимым в различных областях как в новом строительстве, так и при реконструкции существующих зданий и сооружений. Основой 3D лазерного сканирования является получение облака точек – набора координат, отражающего геометрию объекта.

Представим на рис. 1 области применения 3D лазерного сканирования [3].

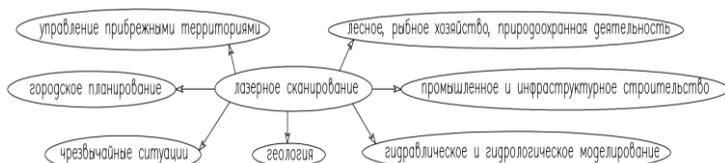


Рис. 1. Область применения лазерного сканирования

Отметим, что процесс формирования информационной модели для проектируемых и существующих объектов различный [3], рис. 2.

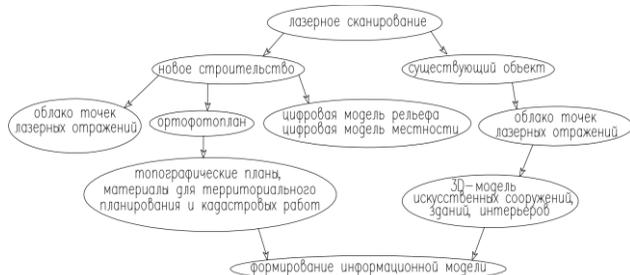


Рис. 2. Схема формирования информационной модели объекта

Таким образом, очевидно многоотраслевое применение данной технологии в народном хозяйстве.

Основные преимущества 3D лазерного сканирования:

1. Высокая точность: лазерные сканеры способны фиксировать миллионы точек в секунду, создавая так называемое «облако точек», которое представляет собой цифровую копию объекта с точностью до миллиметра, что особенно важно при работе со сложными архитектурными формами и инженерными системами. Это значительно превышает возможности традиционных методов измерения.

2. Скорость выполнения работ: в отличие от ручных измерений, процесс сканирования занимает минимальное время (например, здание

среднего размера может быть просканировано всего за несколько часов, тогда как традиционные методы могли бы занять дни или даже недели).

3. Комплексный подход: технология 3D сканирования позволяет учитывать мельчайшие детали объекта, включая труднодоступные участки и скрытые элементы конструкции, что обеспечивает полноту и достоверность полученных данных.

4. Визуализация и моделирование: полученные данные легко интегрируются в специализированные программы (например, Revit, AutoCAD). Это позволяет создавать трехмерные информационные модели (BIM), которые помогают проектировщикам и строителям лучше понимать объект и принимать обоснованные решения.

5. Различные области применения:

– новое строительство: трехмерная модель будущего здания помогает выявить возможные проблемы еще на этапе проектирования;

– реконструкция зданий: сканирование существующих конструкций позволяет точно оценить состояние объекта и разработать оптимальные планы реставрации;

– инженерные изыскания: данные сканирования используются для оценки состояния инженерных сетей и коммуникаций перед началом строительных работ.

6. Экономия ресурсов: благодаря высокой точности и скорости работы, 3D лазерное сканирование снижает количество ошибок и переделок, что приводит к экономии материалов, времени и финансовых затрат.

7. Повышение уровня безопасности на строительной площадке: данная технология позволяет избежать необходимости проведения высотных работ, применения дополнительных устройств, сноровки, работы альпинистов.

Однако, успешное применение 3D лазерного сканирования требует высокой квалификации специалистов, обладающих необходимыми знаниями и опытом работы с современными технологиями. Только профессионалы смогут обеспечить корректную интерпретацию полученных данных и их интеграцию в проекты.

Рассмотрим здание производственного назначения. Требуется выполнить анализ смонтированных систем вентиляции, проверить их работоспособность и дать рекомендации по их усовершенствованию с учетом технологии помещения, режима работы предприятия и других исходных данных, предоставляемых заказчиком.

Первым этапом при формировании общего плана работ является сбор исходных данных и подготовка объекта к лазерному 3D сканированию, включающая:

1) обеспечение необходимого достаточного освещения (при его отсутствии сканер не сможет сделать панорамные цветные фотографии объекта);

2) освобождение рабочей зоны от посторонних предметов, которые

будут мешать при выполнении сканирования и усложнять дальнейшее моделирование (особо следует обратить внимание на предметы, перекрывающие обзор при работе сканера);

3) определение мест для проведения сканирования (требуется выбирать места таким образом, чтобы они «перекрывали» друг друга, например, для смежных помещений важным является проем между ними) и другие.

На рис. 3. представлен скриншот съемки помещения с указанием мест сканирования в виде кругов.

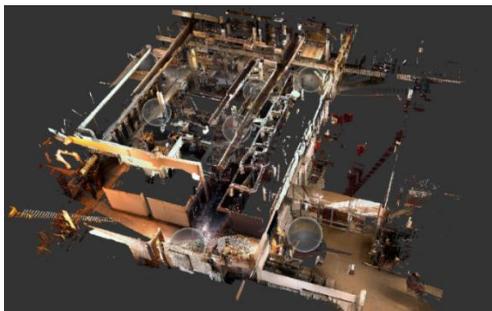


Рис. 3. Скриншот съемки помещения с указанием мест сканирования в виде кругов

При наведении курсора на круг отображается окружение около места сканирования, представленное в виде панорамного снимка с камер, изображенное на рис. 4.



Рис. 4. Окружение около места сканирования

В дальнейшем при помощи разрезов здания приступают к моделированию элементов несущих и иных конструкций, постепенно выполняя конструирование здания в целом. На рис. 5 представлен разрез здания с изображенными системами вентиляции и технологическим оборудованием.

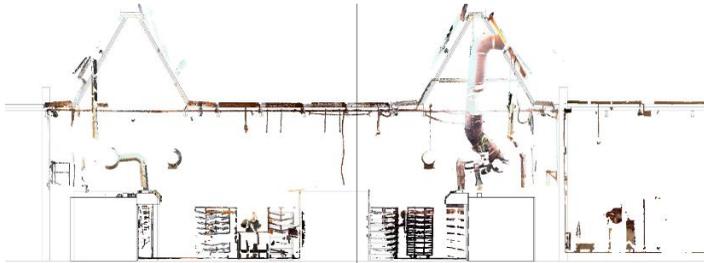


Рис. 5. Разрез здания с изображенными системами вентиляции и технологическим оборудованием

Моделирование трассировок вентиляционных систем выполняют с настройкой глубины секущей плоскости на плане. Следует отметить, что фактически на объекте конструкции и инженерные системы смонтированы с отклонениями от горизонтального и вертикального уровней рис. 6.

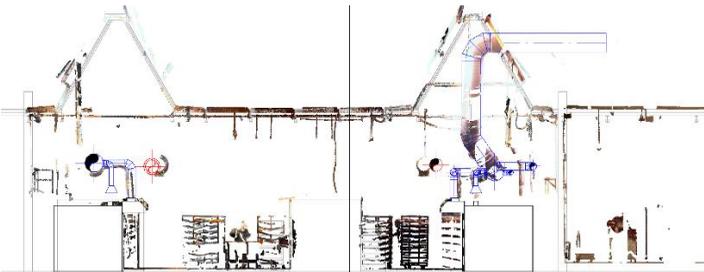


Рис. 6. Разрез здания с нанесенными трассировками вентиляционных систем

Из рис. 6. видно, что смоделированные воздуховоды немного смещены в сторону от вертикальной оси (относительно изображения облака точек). Это является одной из основных проблем, т.к. элементы систем на объекте смонтированы с существенными отклонениями от горизонтальных и вертикальных осей (плоскостей).

В сканере присутствуют панорамные камеры, осуществляющие съемку всего объекта. Это упрощает работу и в дальнейшем не требуется дополнительный выезд специалиста, т.к. замеры можно выполнять в облаке точек рис. 7.

В итоге получаем модель конструктива здания, изображение размещенного технологического оборудования и существующих инженерных систем рис. 8.



Рис. 7. Указание размера местного отсоса вытяжной системы, выполненного в облаке точек

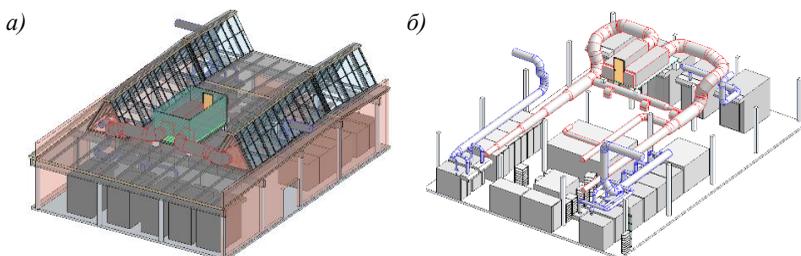


Рис. 8. Модель конструктива здания (а), технологического оборудования и существующих систем вентиляции (б)

Технология 3D лазерного сканирования становится неотъемлемой частью современного строительного процесса [4, 5]. Ее использование способствует повышению качества проектов, сокращению сроков выполнения работ и снижению рисков. В условиях растущих требований к точности и эффективности строительства этот инструмент открывает новые перспективы для развития отрасли.

### Библиографический список

1. Наземное лазерное сканирование / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2009. – 261 с.
2. Брич И.А. Классификация и анализ конструктивных особенностей переносных лазерных систем 3D-сканирования. Политехнический молодежный журнал, 2021, № 06 (59).
3. Алексеенко Н.Н. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 62-73.

4. Талапов В. В. Информационное моделирование зданий – современное понимание // ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)». 2015. 115 с.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 20.12.2022 № 2357 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331».

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

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

**Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.,**

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

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

Под геоинформационными системами (ГИС) следует понимать программные комплексы, которые позволяют собирать, хранить, анализировать, обрабатывать, а также представлять данные и информацию о земной поверхности и ее объектах в различной форме (в виде схем, карт, видов и др.) [1, 2]. Данные программные комплексы находят применение в том числе в строительстве на всех этапах жизненного цикла строительных объектов [3-6]. При этом при обследовании технического состояния зданий и сооружений геоинформационные системы зачастую используются лишь при подготовке к проведению работ, что, на наш взгляд, не раскрывает всего потенциала их возможного применения при решении более серьезных задач, например, при предварительном (визуальном) обследовании.

Расширение области применения ГИС при обследовании рассматривается на примере реального здания – жилого дома, расположенного в Белгородской области (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения (посадки на местности) обследуемого здания (создано по материалам сайта <https://yandex.ru/maps/>)

Необходимость проведения работ была обусловлена просадками грунта, приведшим к повреждению конструкций стен и перегородок, полов и отмостки здания (рис. 2).



Рис. 2. Характерные повреждения конструкций здания:  
а – полов; б – отмостки; в, з – наружных стен

Жилой дом был введен в эксплуатацию в 2013 г. Обследование жилого дома проводилось в ноябре 2024 г.

Рельеф местности вокруг здания имеет незначительный уклон в юго-западном направлении вдоль здания (рис. 3). Эти данные позволили не рассматривать влияние перепада высотных отметок поверхности земли на техническое состояние строительных конструкций здания.



Рис. 3. Топография участка, на котором расположено здание  
(создано по материалам сайта <https://ru-ru.topographic-map.com/>)

Со слов жильцов дома, строительство обследуемого здания было осуществлено на насыпных грунтах в месте, где раньше, возможно, находилась открытая яма пилорамы. Данная информация не нашла подтверждение в результате анализа спутниковых снимков (рис. 4) и

панорамной съемки (рис. 5), выполненных в разное время до момента строительства здания.



Рис. 4. Снимки участка, на котором находится обследуемое здание (создано по материалам сайта <https://earth.google.com/>)

Таким образом, использование открытых данных из геоинформационных систем позволило ответить на ряд вопросов, возникших при обследовании здания.

Опустив другие традиционные результаты обследования, не касающиеся темы настоящей публикации, следует отметить, что техническое состояние здания в целом определено как ограниченно работоспособное.



Рис. 5. Панорамная съемка участка, на котором находится обследуемое здание (создано по материалам сайта <https://earth.google.com/> по состоянию на 08.2013г.)

Просадка грунта и, как следствие, образование повреждений в строительных конструкциях произошло по следующим причинам:

- недостаточное уплотнение грунта обратной засыпки при производстве строительно-монтажных работ нулевого цикла;
- увлажнение грунтов при эксплуатации здания, в том числе и под подошвой фундаментов из-за недостаточной ширины конструкции отмостки и ее расположения ниже уровня прилегающего грунта на отдельных участках, контруклона прилегающей территории;
- отсутствие армирования бетонного основания пола;
- недостаточный свес кровли, отсутствие организованного водоотвода с кровли.

В заключение предлагается закрепить в соответствующих нормативных документах возможность использования объективных данных, получаемых из геоинформационных систем, при проведении обследования технического состояния зданий на подготовительном этапе работ и при предварительном (визуальном) обследовании.

#### **Библиографический список**

1. Якушев Н.М., Иванов Д.А., Симаков Н.К., Кисляков М.А. Инновации в жизненном цикле строительства посредством интеграции BIM/ГИС // Строительство и техногенная безопасность. 2024. № 33 (85). С. 23-29.

2. Шуршилин Е.А., Олехнович Я.А. Геоинформационные системы в строительстве и анализ точности измерений // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 23 (75). С. 49-58.

3. Авдеев Ю.М., Попов Ю.П. Применение геоинформационных систем в строительстве // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 260-264.

4. Салиев Э.И., Шептунов А.В. Использование геоинформационных систем в градостроительном проектировании и эксплуатации инженерных коммуникаций // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 9 (61). С. 107-114.

5. Осенняя А.В., Грибкова И.С., Хахук Б.А., Бацких Т.А., Воронова К.В. Применение геоинформационных систем при проведении кадастровой оценки объектов недвижимости в Российской Федерации // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 1. С. 55-63.

6. Монастырская М.Е., Песляк О.А. Методика определения границ городских агломераций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 111-121.

# **НАПРАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКОЙ**

## **СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЛОЧНОГО И ПОЭЛЕМЕНТНОГО МЕТОДОВ МОНТАЖА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ПОКРЫТИЙ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**Кочерженко В.В., канд. техн. наук, проф.,**

**Кутоманов Д.Е., магистрант,**

**Столярова В.В., студент**

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

При строительстве промышленных и гражданских объектов, для реализации уникальных технологических или архитектурных решений, часто используют конструкции с большими пролетами, исключая необходимость в промежуточных опорах. К сооружениям гражданского назначения относятся, например, концертные и выставочные площадки, вокзалы, цирки, крытые стадионы, а также торговые и деловые центры. В свою очередь, к промышленным объектам можно отнести авиационные и судостроительные цеха, ангары, заводы и другие подобные строения. Необходимость больших пролетов (более 36 м) с использованием подстропильных систем диктуется технологическими нуждами и требованиями к размещению оборудования [1-3].

В современных реалиях ускоренного развития строительной отрасли возрастает потребность в оперативном и качественном возведении объектов. Выбор способа сборки зданий зависит от их проектных особенностей и специфики места строительства, веса основных элементов, а также от доступности строительной техники и оборудования, либо возможности ее аренды [4]. Важно проводить монтажные работы оперативно, с высоким уровнем качества и соблюдая нормы безопасности. Для этого необходимо использовать передовые технологии, в том числе собирать конструкции в крупные блоки [5, 6]. Ярким примером успешного применения метода монтажа металлических конструкций крупными блоками является однопролетный самолеторемонтный цех, длиной 218 м в Минеральных Водах (рис. 1) [7].

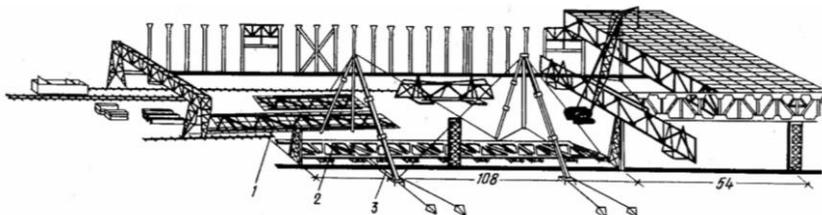


Рис. 1. Схема монтажа покрытия самолеторемонтного цеха в Минеральных Водах: 1 – площадка для укрупнения стропильных ферм; 2 – положение укрупненной подстропильной фермы перед подъемом; 3 – монтажный шевр

Для оптимизации трудозатрат, времени и ресурсов, а также для обеспечения безопасности на рабочем месте, стальные конструкции укрупняют в монтажные блоки. Размер блоков определяется грузоподъемностью используемого оборудования, возможностями транспортировки до места монтажа и экономической целесообразностью сборки. При значительных объемах работ организуют специальные площадки для предварительной сборки, используя специальные приспособления – стенды. Эти стенды оборудованы упорами и центрирующими зажимами, гарантирующими точное соответствие размеров секции и прочное соединение ее элементов, необходимое для последующей сборки и сварки. Создание крупных блоков позволяет сократить число подъемов с помощью монтажных кранов и устанавливать в проектное положение готовый фрагмент конструкции за один раз. Порядок выполнения сборочных работ и контроля качества сборки устанавливается в проекте производства монтажных работ.

При сборке сложных пространственных блоков важно соблюдать заданные расстояния между точками постоянного крепления.

Особое внимание следует уделять геодезическому контролю, строгому соблюдению допустимых отклонений по горизонтали, вертикали и точности размеров здания в плане. Все размеры контролируются поэтапно в процессе сборки, и продолжение работ не допускается до устранения выявленных отклонений, превышающих допустимые значения. В противном случае ошибки будут накапливаться, что может привести к несовпадению отверстий в узлах крупногабаритного блока с уже установленными элементами [8].

Для определения эффективности метода монтажа стальной фермы, пролетом 48 м, примем высоту монтажа 25 м. Тогда, масса блока составит 21,4 т, масса балок покрытия 8,609 т, масса прогонов 1,79 т, а масса связей и распорок 0,93 т.

Согласно нормативным источникам [9], трудозатраты на монтаж металлических конструкций покрытия из отдельных элементов составляет:

09-03-012-09: Монтаж ферм покрытий (т):

$$\frac{8,609 \text{ т} \cdot 2 \text{ шт} \cdot 13,89 \text{ ч} - \text{час}}{8 \text{ час}} = 29,89 \text{ ч} - \text{дни} \quad (1)$$

09-03-015-01: Монтаж прогонов (т):

$$\frac{1,79 \text{ т} \cdot 15,79 \text{ ч} - \text{час}}{8 \text{ час}} = 3,53 \text{ ч} - \text{дни} \quad (2)$$

09-03-014-03: Монтаж связей и распорок (т):

$$\frac{0,93 \text{ т} \cdot 63,28 \text{ ч} - \text{час}}{8 \text{ час}} = 7,36 \text{ ч} - \text{дни} \quad (3)$$

09-04-002-01: Монтаж профлистов (100 м<sup>2</sup>):

$$\frac{2,52 \text{ м}^2 \cdot 35,50 \text{ ч} - \text{час}}{8 \text{ час}} = 11,18 \text{ ч} - \text{дни} \quad (4)$$

Общая трудоемкость при монтаже металлических конструкций из отдельных элементов составляет:

$$Z_{\text{от}} = 29,89 \text{ ч} - \text{дни} + 3,53 \text{ ч} - \text{дни} + 7,36 \text{ ч} - \text{дни} + 11,18 \text{ ч} - \text{дни} = 51,96 \text{ ч} - \text{дни} \quad (5)$$

где  $Z_{\text{от}}$  – затраты труда при монтаже конструкций из отдельных элементов.

Затраты труда на монтаж металлических конструкций укрупненными блоками составляет:

09-01-001-05: Монтаж укрупненного блока (т):

$$\frac{21,4 \text{ т} \cdot 15,78 \text{ ч} - \text{час}}{8 \text{ час}} = 42,21 \text{ ч} - \text{дни} \quad (6)$$

Общая трудоемкость при монтаже металлических конструкций укрупненными блоками составляет:

$$Z_{\text{у}} = 42,21 \text{ ч} - \text{дни} \quad (7)$$

где  $Z_{\text{у}}$  – затраты труда при монтаже конструкций укрупненными блоками. Затраты на использование дополнительного крана покрываются экономией за счет сокращения монтажных работ.

Критерием эффективности укрупнительной сборки является отношение трудозатрат при монтаже конструкций из отдельных элементов к затратам при монтаже конструкций укрупненными блоками [10]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{Z_{\text{от}}}{Z_{\text{у}}} = \frac{51,96}{42,21} = 1,23 \quad (8)$$

Технико-экономический анализ показал, что использование крупноблочного монтажа с предварительной сборкой блока покрытия

представляет собой передовой подход, требующий более широкого распространения и дальнейшего развития. Критерий эффективности укрупнительной сборки  $K_{эф}$  равный 1,23, указывает на значительное преимущество монтажа металлических конструкций покрытия крупными блоками по сравнению с традиционным методом сборки из отдельных деталей.

Основными причинами повышения трудоемкости и увеличения длительности монтажа, проводимого методом поэлементного монтажа, являются: большое количество подъемов отправочных марок, сложность работы монтажников-верхолазов, стесненность рабочих мест и необходимость устройства сложных лесов. В сравнении с поставкой оборудования россыпью, блочный метод сокращает затраты труда при монтаже на 80 %, повышается качество сборки, упрощаются монтажные чертежи. Поэлементный монтаж выполняют самоходными кранами – гусеничными, пневмоколесными и автомобильными – грузоподъемностью до 30 т. При блочном монтаже применяют монтажные краны грузоподъемностью до 60 т. Сравнительный анализ методов монтажа на примере стальной фермы приведен на рис. 2.



Рис. 2. Сравнительный анализ методов монтажа

На основании полученных данных можно сделать вывод, что блочный монтаж является более выгодным по всем ключевым параметрам: он увеличивает производительность труда, снижает стоимость монтажных работ и сокращает общие сроки строительства. Поэлементный монтаж конструкций с большими пролетами нерентабелен и применяется лишь в исключительных случаях.

### Библиографический список

1. Кочерженко, В. В. Технология и организация возведения большепролетных и высотных зданий и сооружений / В. В. Кочерженко,

Л. А. Сулейманова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – 178 с.

2. Горбачева, Д. Н. Выбор методов монтажа большепролетных зданий и сооружений / Д. Н. Горбачева, Н. В. Гилязидинова // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», Кемерово, 18–21 апреля 2017 года – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 54002.

3. Терентьев, Г. П. Основы технологии изготовления металлических конструкций для большепролетных зданий и сооружений: Учебное пособие / Г. П. Терентьев, Д. Н. Смирнов, А. Д. Смирнов. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – 125 с.

4. Кутоманов, Д. Е. Анализ выбора метода возведения большепролетного здания / Д. Е. Кутоманов, В. В. Столярова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 87-91.

5. Тужилкина П. В. Анализ методов монтажа металлических конструкций покрытия / П. В. Тужилкина, Н. В. Гилязидинова // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 54013.

6. Калмыкова, Е. П. Эффективность применения блочного метода монтажа металлических конструкций в сравнении с поэлементным при возведении объектов / Е. П. Калмыкова // Технические науки - от теории к практике. – 2015. – № 52. – С. 162-166.

7. Несветаев, Г. В. Возведение высотных и большепролетных зданий и сооружений: материалы и технологии / Г. В. Несветаев, С. Г. Османов, Ю. И. Корянова. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – 88 с.

8. Ищенко И. И. Монтаж стальных и железобетонных конструкций. - М.: Высшая школа, 1991. - 287 с.

9. ГЭСН-2001-09. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник № 9. «Строительные металлические конструкции» (с изменениями от 20 сентября 2002 г., 9 марта 2004 г., 12 декабря 2006 г., 3 июля, 25 декабря 2007 г.).

10. Теличенко В. И., Технология возведения зданий и сооружений/ Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А., - М.: Высшая школа, 2008. - 446 с.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ЧАСТИ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Максимов В.А., аспирант**

*Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия  
Инженер, ФАУ «РОСДОРНИИ»*

Земляное полотно является одним из главных элементов автомобильной дороги. От его прочности зависит срок службы дорожной одежды. Для повышения качества земляного полотна необходимо контролировать его водно-тепловой режим, особенно на пучинистых грунтах. Территория распространения пучинистых грунтов охватывает большую часть территории Российской Федерации, поэтому развитие автомобильной сети в этих регионах является важной задачей. Цель проектирования земляного полотна заключается в создании стабильной конструкции, которая сохранит свои прочностные свойства в течение всего срока эксплуатации автомобильной дороги.

Важно избегать использование пучинистых грунтов при проектировании, строительстве или реконструкции автомобильных дорог. Однако, не всегда есть возможность полностью заменить такие грунты из-за больших объемов работ и экономических затрат. Для предотвращения проблем с промерзанием и устранения излишней влаги в грунте необходимо проводить мероприятия по регулированию водно-теплого режима. Эти меры направлены на защиту верхних и рабочих слоев грунта от влажности и промерзания. Когда грунты насыщены влагой, они расширяются, что приводит к повреждению основания, влияющему на эксплуатационное состояние дорожных покрытий.

Восстановление транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог, которые пострадали от неблагоприятного водно-теплого режима, требует значительных затрат, но проблема все еще не решена, что делает ее достаточно актуальной. Однако многие проекты не всегда учитывают особенности влияния, прежде всего, грунтово-геологических, природно-климатических условий на работу земляного полотна, что требует дополнительных исследований и разработок в этой области. Одним из актуальным направлением решения проблемы регулирования водно-теплого режима на пучинистых грунтах является введение теплоизолирующих или гидроизолирующих слоев основания из пенополистирольных плит. Но несмотря на удачный опыт применения такой конструкции, отсутствуют данные об ее эффективности по сравнению с другими методами регулирования водно-теплого режима. Многие нормативные документы требуют пересмотра, а также требуется разработка типовых конструкций дорожных одежд с

пенополистирольными плитами с детальным технико-экономическим обоснованием.

Термин «водно-тепловой режим земляного полотна» означает изменение температуры и влажности в различных точках земляного полотна в течение года, учитывая особенности климатических условий и гидрогеологических характеристик региона. Важно отметить, что состояние «земляного полотна – основания» является ключевым аспектом дорожной инфраструктуры.

К основным характеристикам, которые формируют понятие водно-теплого режима земляного полотна, относятся:

1. Метеорологические (относительная влажность, температура воздуха и т.д.).

2. Грунтово-гидрологические (уровень УГВ, тип грунта, глубина промерзания грунтов).

Так как водно-тепловой режим зависит от разных характеристик, а в первую очередь от влажности и температуры в течении года, то годовой цикл изменения водно-теплого режима можно разделить на 4 стадии:

1 стадия – осенний период характеризуется накоплением влаги в земляном полотне из-за обильных осадков и подъема уровня грунтовых вод;

2 стадия – зимний период отличается миграцией влаги, при этом промерзание грунта приводит к перемещению влаги снизу-вверх;

3 стадия – весенний период. В это время происходит переувлажнение грунтов из-за оттаивания, влажность резко увеличивается, это сказывается на прочности и надежности земляного полотна. Этот период принято считать расчетным при проектировании дорожной одежды;

4 стадия – летний период. Летом происходит просыхание грунтов. Этот период характерен более прочным и устойчивым земляным полотном, так как влажность постепенно уменьшается. Все эти стадии цикличны и повторяются из года в год и характерны для любой дорожно-климатической зоны.

Именно вода (грунтовые воды, атмосферные осадки и т.п.) становятся источником большинства деформаций, которые возникают в процессе эксплуатации автомобильной дороги (рис. 1).

При многократных циклах замерзания и оттаивания земляного полотна происходит нарушение и деформация основания дорожного покрытия. Весной процесс оттаивания протекает медленнее под обочинами, что приводит к тому, что дренажные слои не функционируют из-за нахождения в замерзшем состоянии. Это является признаком несовершенства конструкции существующего дорожного покрытия.

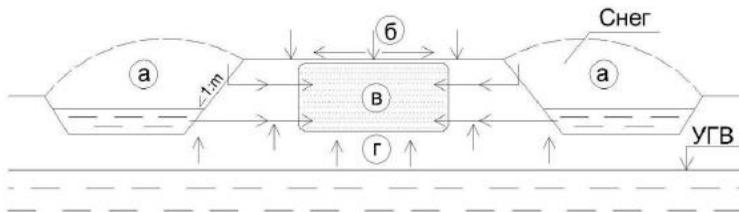


Рис.1. Причины деформаций и разрушений земляного полотна автомобильной дороги. *а* – длительно застаивающаяся поверхностная вода; *б* – атмосферные осадки; *в* – парообразная и пленочная вода; *г* – капиллярная вода

При проектировании необходимо уделить пристальное внимание разработке эффективной системы дренажа, которая будет обеспечивать отвод воды от основания дорожного покрытия.

Разделяют 4 группы методов регулирования ВТР земляного полотна:

1. Снижение и ограничение увлажнения поверхности земляного полотна (устройство дополнительных слоев основания, отвод воды с обочин и проезжей части, уплотнение грунтов ЗП).

Для отвода воды еще на стадии проектирования выполняют ряд работ (выпуклое очертание поперечного профиля земляного полотна и дорожной одежды, планирование и укрепление обочин, боковые канавы и т.д.).

На стадии строительства очень важную роль играет уплотнение грунтов, в результате которого достигаются устойчивость и стабильность дорожной конструкции. От воздействия грунтовых вод подходит устройство гидроизолирующей и капиллярпрерывающей прослойки (рис. 2). Для ее устройства применяют грунты обработанные вяжущими, нетканые синтетические материалы, пропитанные битумом, полиэтиленовую пленку и т.д.

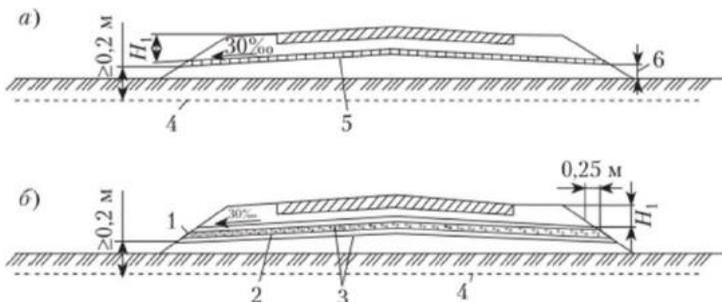


Рис.2. Мероприятия по регулированию ВТР земляного полотна

2. Улучшение грунтовых характеристик, а именно замена пучинистых грунтов, устройство морозозащитных слоев или укрепление и стабилизация грунта.

Замена пучинистого грунта рекомендуется как крайний вариант, применяемый при ограниченных объемах работ и доступности местных материалов с улучшенной дренирующей способностью, обеспечивающих коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут.

Востребованное на данный момент направление – это укрепление и стабилизация грунтов. Данные техники имеют преимущество в экономическом плане, а также удобство в производстве.

3. Регулирование ВТР с помощью теплоизолирующих слоев.

Слой теплоизоляции – это дополнительный уровень в структуре дорожной одежды, предназначенный для ограничения теплообмена между земляным основанием и поверхностью дороги. Такие слои применяются для достижения многих характеристик, но прежде всего, для снижения морозного пучения при промерзании земляного полотна. Например, в зоне вечной мерзлоты такие слои сохраняют прочность мерзлых грунтов, не позволяя им оттаивать.

4. Отвод грунтовых вод от верха земляного полотна, включая создание дренажных слоев.

Регулирование глубины промерзания грунта направлено на снижение миграции влаги и предотвращение возникновения нестабильностей в грунте.

Внедрение эффективных методов дренажа и ликвидации риска образования пучин играет важную роль в обеспечении устойчивости грунтового основания.

Данной теме посвящено достаточно много научных работ. Первые исследования появились в 1924 г., написанные профессором Дубелира Г.Д. Вопросом строительства устойчивого земляного полотна начали заниматься СоюзДОРНИИ в 1936 г., свои исследования они проводили на стационарных «пучинных станциях».

Профессор Сиденко В.М. разработал теорию влагонакопления в верхней части земляного полотна. А более современные работы, например, как в диссертации Толстенова С.В. на тему «Развитие методов прогнозирования и регулирования водно-теплого режима земляного полотна эксплуатируемых автомобильных дорог: на примере Алтайского края» описаны методы прогнозирования и регулирования ВТР глинистых грунтов. Это позволяет еще на стадии проектирования применить соответствующие меры.

Быстрый рост интенсивности движения транспортных средств на дороге увеличивает нагрузку на дорожное покрытие и земляное полотно. Кроме того, на структуру дорог влияет водный режим местности. При переувлажнении земляного полотна грунты частично теряют свои

прочностные свойства, такие как модуль упругости, сила сцепления и угол внутреннего трения.

Дисперсный грунт, известный как пучинистый (то есть составленный из отдельных, мелких частиц), при переходе из замерзшего состояния в талое расширяется в объеме из-за образования льда. Такие грунты создают множество трудностей для строителей, поскольку зимой они могут значительно увеличиться в объеме. Если земляное основание с таким грунтом становится увлажненным зимой, возникает эффект морозного пучения. Вот почему важно проводить мероприятия для регулирования ВТР земляного основания.

Все методы по регулированию водно-теплового режима земляного полотна можно разделить на 4 группы, приведенные на рис. 3.



Рис. 3. Методы регулирования увлажнения грунтового основания

Рассмотрим некоторые методы регулирования ВТР, которые используются в данный момент. Если земляное полотно содержит слабые грунты (текучие пылевато-глинистые грунты, торфы, пучинистые грунты и т.п.), которые обладают низкой грузоподъемностью и повышенной сжимаемостью, их использование в роли естественной основы чаще всего бывает либо невозможным, либо нецелесообразным. В таких случаях слабый грунт может быть заменен другим (например, крупнообломочным грунтом, крупным и средним песком и т. д.).

Однако этот метод является весьма дорогостоящим, поскольку требует большего количества техники и высококачественных материалов, и не является выгодным из-за нехватки нужных грунтов в зоне строительства.

Изучение современных исследований и публикаций указывает на то, что стабилизация или укрепление грунта – это наиболее результативный и передовой технологический подход, который использует введение вяжущих материалов для запуска сложных физико-химических и химических процессов в грунте.

Разработка методов стабилизации грунта с помощью вяжущих веществ является весьма актуальной. Например, с целью уменьшения стоимости строительства автомобильной дороги, особенно в районах, где нет каменных материалов, целесообразно использовать неорганические вяжущие (золы, шлак, цемент, известь и т.п.). Множество отечественных и зарубежных исследований посвящены разработке составов и методов стабилизации грунта неорганическими материалами.

Самым распространенным материалом для укрепления грунтов стал цемент. Его использование порой увеличивает стоимость строительства. Поэтому некоторые исследователи предложили свои модели для создания прочного основания.

В своем изобретении Черногиль В.Б. [11] создал прочный, однородный и морозостойкий глинистый грунт, который можно использовать для устройства оснований дорожных одежд. В качестве материала для укрепления он использовал утилизированный отход, образующийся при производстве чугуна.

Вдовин Е.А. и его группа создала состав, который улучшает морозостойкость и прочность грунтов. Этот уникальный состав включает в себя минеральное вяжущее вещество, разнообразные заполнители на основе грунтов, песчаных и щебеночно-песчаных смесей, воду, а также химические добавки в виде эксклюзивных соединений - октилтриэтоксисилана/эмульсии октилтриэтоксисилана и водного раствора сополимера на основе производных полиоксиэтилена ненасыщенных карбоновых кислот/карбоксилатного полиэфира [12].

Применение ионного стабилизатора для стабилизации грунтов в дорожном строительстве является инновационным подходом, привнесённым из-за рубежа. Этот стабилизатор представляет собой высококонцентрированный сульфанированный нефтяной продукт, растворимый в воде, обладающий высоким положительным потенциалом для ионного обмена. Именно благодаря этому обмену достигается улучшение физико-механических характеристик грунтов. В международной практике строительства дорог ионные стабилизаторы используются уже более 40 лет. Среди наиболее известных – стабилизаторы Roadbond из Южной Африки, RRP из Германии, WFGS из США и другие.

Анализируя техническую литературу, можно заметить, что эти стабилизаторы в основном применяются в странах с теплым и жарким климатом, где холодные периоды короткие. Однако, в наше время эта технология также используется в разных дорожно-климатических зонах России.

Важно отметить, что существующие исследования в этой области не содержат убедительных доказательств возможности применения ионного стабилизатора в природных условиях второй климатической зоны. Также

отсутствуют данные экспериментов, демонстрирующие влияние ионного стабилизатора на свойства пучинистых глинистых грунтов.

Исследование [14] показывает, что данная технология может быть апробирована на объектах дорожного хозяйства, так как не требует специальных машин и закрытия движения по полосе. А это говорит об экономической эффективности, так же испытанные пробы показали, что деформация набухания грунта с ионным стабилизатором практически отсутствует, а значит морозное пучение грунта уменьшается.

Современные тенденции указывают о популяризации применении отходов при стабилизации и укреплению грунтов. Данное направление не только экономически выгодно, но и приводит к новым технологическим решениям.

Помимо укрепления слабых грунтов, для снижения переувлажнения верхней части земляного полотна и дорожной одежды применяют водонепроницаемые слои. Их укладывают на всю ширину земляного полотна, используя синтетические пленки в качестве изоляционного материала. Эти слои необходимы в случаях, когда насыпи недостаточно высокие, чтобы обеспечить нужное поднятие дорожного покрытия.

Вместо водопаронепроницаемых слоев для создания преграды для подъема капиллярной воды, устраиваются капилляропрерывающие слои. Они состоят из синтетической пленки и укладываются на всю ширину земляного полотна, чтобы предотвратить негативное воздействие влаги. Чтобы предотвратить морозное пучение, специалисты устраивают морозозащитные и дренажные слои. Эти конструктивные элементы дорожной одежды предназначены для сбора и отвода воды, которая может скапливаться в верхней части грунтового основания или проникать через верхние слои. Материалы, которые используются при устройстве капилляропрерывающих слоев: стабильные зернистые материалы пенополистирольные плиты, геотекстиль, укрепленные и стабилизированные грунты.

Наиболее распространенным материалом для теплоизолирующего слоя является экструдированный пенополистирол. На данный момент все исследования и расчеты конструкций дорожных одежд с применением пенополистирольных плит в качестве теплоизолирующего слоя утратили свою актуальность. В статье [15] приведен пример конструкции нежесткой дорожной одежды III категории (3 тип местности по увлажнению). При использовании таких плит в дополнительном слое основания земляного полотна снижается годовая амплитуда колебаний температуры и влажности, а значит, и улучшение прочностных характеристик конструкций в целом.

Все используемые на данный момент конструкции разработаны по старым нормативным документам, и не учитывают рост интенсивности, а также рост грузоподъемности. Существующие решения давно потеряли

актуальность и требуют новой разработки дорожных конструкций с применением пенополистирольных плит, а также технико-экономическое обоснование, так как многие заказчики и подрядчики прибегают к стабилизации и укреплению грунтов.

За рубежом также используются данные методы. Например, одним из распространенных материалов для устройства морозозащитных слоев является гранулированное пеностекло (foam glass). Его получают путем переработки промышленных и бытовых отходов стекла. В Германии, используется в основном насыпное пенобетонное стекло, произведенный компанией Schaumglas-Schotter. Этот материал производится, главным образом, компанией Schaumglas-Schotter, и представляет собой пеностекольный щебень.

Пеностекольный, благодаря низкой гигроскопичности, выполняет сразу две функции: теплоизоляция и дренирование. Единственный недостаток данного материала – это его высокая стоимость из-за ограниченности сырьевой базы, поэтому данный материал плохо распространен по территории нашей страны.

В отличие Германии, где климат более мягкий, в строительстве дорог Норвегии используется уникальный материал SINTEF, обеспечивающий надежную теплоизоляцию, в условиях сурового климата. Такой материал использовался при создании транснациональной магистрали, которая со временем показала соответствие самым высоким стандартам качества и долговечности в экстремальных природных условиях.

Помимо пеностекла для морозозащитных слоев используют керамзитовый гравий, который производят путем спекания глины в специальной печи в результате образуются твердые зерна (гранулы) различных размеров.

Для ограничения доступа грунтовых вод в зону промерзания и снижения величины морозного пучения грунтов дорожного полотна до предельно допустимых значений предложено создание непроницаемых экранов инъекционным методом [8].

С помощью инъекционных методов можно осуществить изменение свойств грунтов дорожного полотна или устройство непроницаемого слоя в основании насыпи без перестройки существующего дорожного полотна и ограничения движения транспорта. Изменение свойств или укрепление грунтов всего дорожного полотна (не менее 1,5 м от поверхности) является относительно дорогостоящим способом из-за большого объема обрабатываемого грунта, поэтому оптимальным способом из двух перечисленных подходов является создание непроницаемых экранов в основании дорожного полотна.

Создание непроницаемых экранов из закачиваемого раствора, перекрывающих доступ грунтовых вод в зону промерзания, позволит

снизить величину морозного пучения до предельно допустимых значений. Непроницаемый экран в основании пласта позволит реализовать так называемую «закрытую» схему, без доступа грунтовых вод в зону промерзания. А использование вяжущих растворов, в случае размещения закрепленной впрыском грунтовой массы не за пределами зоны промерзания, а в ее нижней части, дополнительно снизит величину промерзания грунта за счет образования цементационных связей.

Для предотвращения попадания грунтовых вод в зону промерзания авторами предложены конструкции непроницаемых экранов для эксплуатации дорожных насыпей с относительно высоким уровнем грунтовых вод.

В Китае было разработано специализированное устройство для обогрева насыпей, включающее секцию солнечного коллектора и секцию обогревателя насыпи. Устройство интегрирует преобразование, хранение и передачу энергии без движущихся частей и, следовательно, может использоваться для самостоятельных операций на «изолированном острове». Эксплуатационные испытания показали, что максимальная температура нагрева превышает 60 °С при среднем диапазоне 20-40 °С, который увеличивается с увеличением солнечной радиации [10].

Устройство представляет собой автономную установку преобразования тепла. Существуют статические и кольцевые жидкостные теплообменники. Учитывая низкую скорость теплопередачи грунтовой массы, статический тип является предпочтительным. Устройство не имеет движущихся и энергозатратных частей, которые могут приводиться в действие самостоятельно для длительной работы. Селективное поглощающее покрытие на металлической теплопоглощающей трубке преобразует солнечный свет в тепло, которое впоследствии передается внутрь теплопроводящего масла во время работы.

Температура масла в насыпном нагревателе секция будет подниматься одновременно. Разница температур между секцией нагревателя насыпи и грунтом увеличивается, передавая тепловую энергию насыпи. При большой тепловой нагрузке на насыпь или в случае аварийного обледенения при ремонте предпочтение отдавалось круглому типу. Верхняя часть солнечного коллектора и основание водонагревателя соединены внешним трубопроводом в устройстве круглого типа; насос для раствора с фотоэлектрическим приводом используется для обеспечения внутренней циркуляции теплопроводящего масла для оптимизации эффективности нагрева.

### **Библиографический список**

1. Агеев В.С. Оценка влияния конструктивных решений на трещиностойкость асфальтобетонных слоев усиления

цементнобетонных покрытий автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.23.11) / Агеев Виталий Сергеевич. – Москва, 2007 – 22 с.

2. Бурмистрова О.Н., Бургонутдинов А.М., Пильник Ю.Н. механизм образования морозобойных трещин на автомобильных дорогах, эксплуатируемых в умеренно-континентальном климате / Бурмистрова О.Н. // Лесотехнический журнал. – 2016. – №4. – С. 133-138.

3. Жалко М.Е., Черный К.А. Влияние водно-теплового режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды / Жалко М.Е. // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 97–103.

4. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, №2. – С. 5–21.

5. Селиверстова О.В. Регулирование водно-теплового режима земляного полотна автодорог на участках с высоким уровнем грунтовых вод / Селиверстова О.В. // COLLOQUIUM-JOURNAL – 2019. – №17-1(41). – С. 61-62.

6. Семенова Т.В. Совершенствование метода проектирования системы поверхностного водоотвода автомобильных и городских дорог по условиям обеспечения безопасности движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.23.11) / Семенова Татьяна Викторовна. – Омск, 2011 – 25с.

7. Чан Куок Дат. Повышение несущей способности слабых оснований дорожных насыпей сваями-дренами: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.23.11) / Чан Куок Дат. – Москва, 2010 – 26с.

8. Makhmudova D., Kramova F. Water Regime Effect on Soils of the Motor Roads Subgrade / D. Makhmudova // The Third International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering – 2023. – 7p.

9. Martin Jesus Sotelo Evaluation Of Non-Nuclear Devices In Measuring Moisture Content And Density Of Soils / Martin Jesus Sotelo // Evaluation Of Non-Nuclear Devices In Measuring Moisture Content And Density Of Soils. – Open Access Theses & Dissertations. – 2012.

10. Tianfei Hu, Li Wang, Tiecheng Sun, Tengfei Wang, Zongkai Zhang Experimental and numerical investigations on a solar energy-based a tive heating method for achieving frost-resistant embankments / Tianfei Hu // Case Studies in Thermal Engineering. – 2022. – №39.

11. Пат. 2621802 Российская Федерация, МПК E02D 3 / 12, C04B 28 / 08, C04B 111 / 20. Укрепленный глинистый грунт / Черногиль В. Б.; заявитель и патентообладатель Черногиль В. Б. № 2016116124; з явл. 25.04.2016; опубл. 07.06.2017, Бюл. № 16.

12. Пат. 2545228 Российская Федерация, МПК E01C 21 / 00, E01C 7 / 10. Грунтовая смесь для дорожного строительства (варианты) / Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Строганов В. Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. № 2013152240 / 03; заявл. 25.11.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.

13. Пат. 2643869 Российская Федерация, МПК E01C 3 / 04, E01C 7 / 36, E02D 3 / 12, C09K 17 / 12. Состав для укрепления грунта, способ укрепления грунта и грунтовая смесь / Комолов В. Б.; заявитель и патентообладатель Комолов В. Б. №2016145347; заявл. 21.11.2016; опубл. 06.02.2018, Бюл. № 4.

14. Вельсовский А.Ю. Экспериментальные исследования материалов по обеспечению морозоустойчивости дорожных конструкций / Вельсовский А.Ю. // Инновационные технологии в науке и образовании – 2021. – С. 65-78.

15. Иванов Д.В., Андрианов К.А., Ярцев В.П. Определение долговечности экструзионного пенополистирола в конструкциях дорожных одежд / Иванов Д.В. // Строительные науки - №3. – 2010. – С. 639-643.

16. Рувинский В.И. Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из материала Stygofam на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока / Рувинский В.И. // Москва: «Транспорт» – 2001.

## **РОБОТЫ-МАНИПУЛЯТОРЫ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

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

**Су Хунсюань, магистрант**  
*Хулунбуирский институт, г. Хулунбуир, Китай*

Актуальность исследований в области применения роботов-манипуляторов в строительстве обусловлена необходимостью повышения эффективности, безопасности и устойчивости строительных процессов в условиях стремительно развивающихся технологий и растущих требований к качеству строительства. Строительная отрасль,

как одна из самых крупных и затратных, сталкивается с многочисленными вызовами, такими как нехватка рабочей силы, невысокая производительность труда, большие затраты на материалы и время, а также проблемы безопасности на строительных площадках. В этом контексте роботы-манипуляторы представляют собой перспективное решение для оптимизации многих из вышеперечисленных проблем. Обладая высокой точностью, программируемостью и способностью выдерживать суровые условия эксплуатации, роботы-манипуляторы предлагают инновационные решения для кладки, сварки, сборки и других строительных процессов [1-4].

Для 3D-печатной архитектуры применяют основные методы 3D-печати, представленные на рис. 1 [5, 6].



Рис. 1. Основные методы 3D-печати

Одним из примеров из практики является роботизированная рука для 3D-печати готового дома в течение 24 ч, представленная компанией ArisCor (рис. 2).



Рис. 2. Роботизированная рука для 3D-печати

Для сварки строительных стальных конструкций применяется роботизированная рука японской компании (рис. 3.), погрешность сварки которой составляет менее 0,1 мм, а эффективность повышается на 400 %.



Рис. 3. Роботизированная рука для стальных конструкций

Одним из эффективных решений при эксплуатации в опасных условиях является применение роботизированной руки, которая берет на себя задачи по сносу и транспортировке (рис. 4).



Рис. 4. Роботизированная рука для сноса и транспортировки во время уборки руин атомной электростанции «Фукусима-1»

Строительные предприятия могут использовать специальные 3D-принтеры и специализированные бетонные материалы для быстрого строительства бетонных мостов различных форм с помощью многослойной печати, например, по сравнению с традиционным возведением, 3D-печатный бетонный мост имеет преимущества быстрой скорости строительства, высокого использования материалов и архитектурной выразительности, гибкой формы [7, 8].

Например, в 2019 г. 3D-печатный бетонный пешеходный мост общей длиной 26,3 м и шириной 3,6 м был завершен в заливе мудрости Баошань в Шанхае, где строительство моста заняло около 450 ч (рис. 5). Исследования показывают, что технология 3D-печати имеет преимущества высокой эффективности, точности, защиты окружающей среды и т. д.



Рис. 5. 3D-печатный бетонный мост

Основными техническими преимуществами являются:

- точность, за счет лазерной навигации и алгоритма искусственного интеллекта, обеспечивающего позиционирование на миллиметровом уровне;

- режим совместной работы человека и компьютера гарантирует гибкость и безопасность. Однако имеется недостаточная адаптивность к сложным неструктурированным средам и высокие первоначальные инвестиционные затраты с необходимостью повышения квалификации персонала.

Целью исследования является комплексная оценка возможностей применения роботов-манипуляторов в строительстве, включая их технические, экономические и экологические аспекты, а также в разработке рекомендаций для их эффективного внедрения в практику.

В настоящее время технология 3D-печати в строительной промышленности уже имеет определенную техническую основу. Прежде всего, исследования и разработки строительного 3D-печатного оборудования становятся все более отработанными, размер печати постоянно увеличивается, точность печати постоянно улучшается. Например, в 2022 г. исследовательская группа университета Санься (провинция Хайнань, Китай) успешно разработала крупнейший в Китае монолитный бетонный 3D-принтер, размер печати которого может достигать 15×15×10 м, заложив техническую основу для печати крупногабаритных строительных конструкций.

Во-вторых, система материалов, подходящих для 3D-печати в

строительстве, продолжает обогащаться, например, высокопрочный бетон, армированный стекловолокном, керамические материалы и другие.

Исследования по применению роботов-манипуляторов в строительстве включают несколько ключевых задач, направленных на улучшение эффективности, безопасности и устойчивости строительных процессов (рис. 6) [9-12].

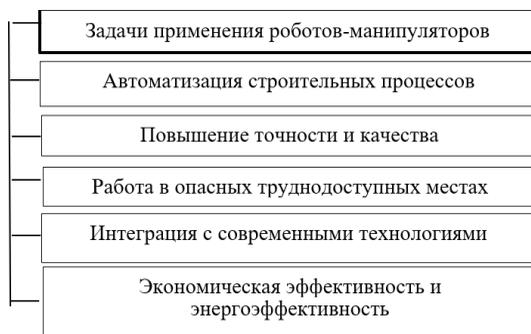


Рис. 6. Задачи, направленные на улучшение эффективности, безопасности и устойчивости строительных процессов

Одной из основных задач является разработка и внедрение роботов-манипуляторов для выполнения стандартных и повторяющихся строительных операций, таких как укладка кирпичей, монтаж панелей, сварочные работы или установка тяжелых конструкций. Это позволяет снизить трудозатраты и ускорить процессы строительства (рис. 7).

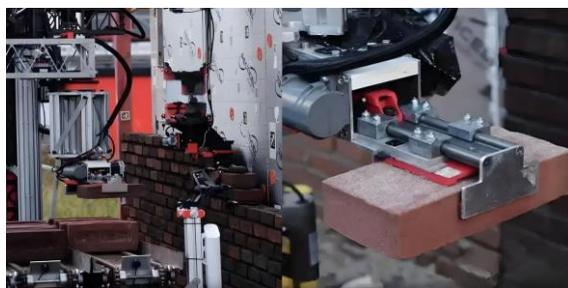


Рис.7. Роботы-манипуляторы для повторяющихся строительных операций

Роботы могут работать с высокой точностью, что помогает в точном соблюдении проектных решений и повышении качества строящихся объектов. С использованием манипуляторов можно минимизировать человеческие ошибки, которые могут возникнуть из-за усталости,

невнимательности или других факторов.

Роботы-манипуляторы могут быть использованы в условиях, где традиционным методам строительства угрожает опасность, например, на высоте, в зонах с высоким уровнем радиации или в условиях плохой видимости. Это снижает риски для здоровья и безопасности работников. Разработка роботизированных систем, которые могут взаимодействовать с другими передовыми технологиями, такими как системы управления строительством, датчики и алгоритмы машинного обучения, является важной задачей. Это открывает новые возможности для оптимизации строительных процессов и мониторинга.

Изучение экономических аспектов применения роботов-манипуляторов важно для оценки рентабельности их внедрения. Кроме того, роботы могут быть использованы для оптимизации потребления материалов и ресурсов, что способствует более устойчивому строительству.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Рябчевский И.С. Современные технологии в строительстве. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. 180 с.

2. Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Средства механизации строительства. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. 342 с.

3. Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Рябчевский И.С. Производство строительно-монтажных работ с применением технологий цифрового моделирования. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. 81 с.

4. Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Рафаелян А.В., Аноприенко Д.С. Инновационные технологии виртуальной и дополненной реальности в проектировании и строительстве // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021): Сб. Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва. Том Часть 4. 2021. С. 47-50.

5. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В. Сущность аддитивных технологий в строительстве // Университетская наука. 2018. № 2 (6). С. 70-74.

6. Сулейманова Л.А., Огнев Н.В. Оценка возведения стен здания с помощью 3d-принтера в сравнении с традиционным строительством из бетонных блоков // Университетская наука. 2017. № 2 (4). С. 13-15.

7. Сулейманова Л.А. Аддитивные технологии в строительстве. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 237 с.

8. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Огнев Н.В. Особенности проектирования и возведения здания с применением аддитивных технологий строительства // Сборник докладов Zbornik Radova Visoke tehnicke Skole strukovnih studija, Сербия, 2018. С. 182-186.

9. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Гинькин Н.С., Зайцев М.В. Организация и производство работ с применением средств роботизации при устройстве инженерных коммуникаций // В сб.: Наука и инновации в строительстве. – Белгород, 2020. С. 277-281.

10. Сулейманова Л.А. Роботизация в производстве строительных материалов, изделий и конструкций. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 100 с.

11. Сулейманов К.А., Кунцев А.С. Информационное моделирование зданий и сооружений // В сб.: Международный студенческий строительный форум - 2018 (К 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 88-91.

12. Медведев В.Е., Рябчевский И.С. Портальные роботизированные комплексы // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2019. С. 875-879.

## **СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**Радайкин А.Г., аспирант,**

**Ивонина О.Г., канд. экон. наук, доц.**

*Нижегородский институт управления - филиал РАНХиГС  
при Президенте РФ, г. Нижний Новгород, Россия*

На российском рынке существуют отдельные инструменты цифровой трансформации строительной отрасли, при этом единый механизм, в котором бы интегрировался ряд цифровых продуктов, реестров и площадок, отсутствует [1].

Структурная модель цифровой экосистемы строительной отрасли (рис. 1) разработана для создания устойчивой и эффективной системы координации и взаимодействия участников строительства, направленной на повышение доступности, качества и скорости строительства, а также снижение рисков и оптимизацию затрат без ограничений в отношении строительных объектов [2].

Одним из приоритетных направлений развития и цифровой трансформации отрасли должно стать создание благоприятной среды для этого через оказание государственной поддержки, инвестирование в

инновации, развитие кадров и улучшение законодательной базы [3]. Так, цифровая экосистема строительной отрасли должна стать не только инструментом оптимизации бизнес-процессов, но и главным элементом повышения ее конкурентоспособности и устойчивости на глобальном уровне [4, 5].



Рис. 1. Структурная модель цифровой экосистемы строительной отрасли

Цифровая экосистема строительной сферы строится с учетом высоких требований к безопасности данных. Она должна включать в себя комплекс мер и технологий, направленных на защиту информации от несанкционированного доступа, утечек, краж и других угроз. К основным средствам обеспечения безопасности данных в цифровой экосистеме относятся: многофакторная аутентификация, шифрование данных, системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), брандмауэр, регулярное обновление программного обеспечения, аудит безопасности, резервное копирование данных, политика безопасности, обучение персонала.

В разрабатываемой цифровой экосистеме должны быть интегрированы различные функциональные подсистемы для обеспечения ее распространения на большее число участников отрасли. К платформе должна быть подключена действующая ИСУП с федеральными и региональными государственными информационными системами ГИСОГД, ЕЦПЭ, ЕИС, ЕСИА, а также аппаратными сервисами визуального контроля (камеры, БПЛА, датчики и др.).

Рассмотрим дополнительные подсистемы, которые планируются

интегрировать в рамках платформы.

Подсистема интеграции с образовательными организациями обеспечит взаимодействие между участниками строительной отрасли и системой образования.

Подсистема миграционного учета предполагает учет и контроль миграционных потоков в строительной отрасли, позволяя отслеживать количество иностранных работников в отрасли и их распределение по регионам.

Подсистема подбора специалистов призвана оказывать помощь участникам отрасли в поиске и подборе квалифицированных специалистов.

Подсистема исследований и разработок новых технологий будет содействовать развитию инноваций и внедрению новых технологий в строительной отрасли. Исследователи и разработчики получают возможность распространения своих идей в реальный сектор и доступ к финансированию своих проектов.

Подсистема повышения квалификации создана для того, чтобы увеличивать компетентность специалистов в рамках отрасли.

Подсистема учета рисков предполагает проведение оценки и управления рисками в строительной отрасли.

Подсистема инвестиционных решений будет оказывать помощь участникам отрасли в принятии инвестиционных решений, предоставляя информацию о рынке строительных проектов, тенденциях и возможностях и позволяя участникам отрасли оценивать доходность инвестиций.

Подсистема проектного финансирования призвана обеспечить дополнительные, стабильные потоки вложений в строительные проекты.

Подсистема аттестации специалистов позволит подтвердить их квалификацию и соответствие профессиональным стандартам, повысить доверие к ним и их услугам.

Подсистема интеграции с кадровыми службами даст возможность участникам отрасли получать информацию о трудовых ресурсах и потребностях в персонале, поможет эффективно управлять и привлекать квалифицированных специалистов, осуществлять обмен на условиях бартера.

Отдельно следует выделить подсистему паспортизации и статистического сбора для Федеральной службы государственной статистики по организациям строительной отрасли.

В рамках разрабатываемой цифровой экосистемы строительной отрасли будут внедрены следующие процессы:

- управления строительными объектами в рамках цифровой экосистемы [6] (учет и мониторинг строительных объектов на всех этапах жизненного цикла, контроль сроков, бюджета и качества строительства, управление документацией и чертежами проекта, координация работ

между различными участниками проекта, анализ данных и отчетность о ходе строительства);

– управления финансированием проектов (планирование и управление бюджетом проекта, поиск и привлечение финансирования, управление денежными потоками, контроль расходов и платежей, финансовый анализ и отчетность);

– координации участниками отрасли (регистрация и учет участников строительной отрасли, управление отношениями с подрядчиками, поставщиками и другими партнерами, обеспечение соблюдения договорных обязательств, разрешение споров и конфликтов, оценка и отбор участников отрасли);

– управления цифровыми технологиями (внедрение и использование цифровых технологий в строительной отрасли, управление данными и информационными системами, обеспечение информационной безопасности, разработка и внедрение инновационных решений);

– управления образовательными программами (разработка и реализация образовательных программ для строительной отрасли, сотрудничество с образовательными организациями и работодателями, повышение квалификации и непрерывное профессиональное развитие специалистов);

– управления кадровым обслуживанием (управление кадровым составом строительных организаций, подбор, найм и увольнение персонала, учет рабочего времени и заработной платы, оценка и аттестация сотрудников, развитие и обучение персонала, соблюдение трудового законодательства и охраны труда)

Отметим, что перечисленные процессы взаимосвязаны и образуют комплексную систему управления строительной отраслью в рамках цифровой экосистемы.

Таким образом, внедрение цифровой экосистемы предоставляет более широкие возможности в рамках цифровой трансформации строительной отрасли, способствуя эффективной координации и открытому и доверительному взаимодействию между всеми ее участниками, повышая эффективность управления проектами, улучшая качество анализируемой сферы, стимулируя появление новых технологий, инструментов и решений, повышая доступность и привлекательность цифровых технологий [7].

### **Библиографический список**

1. Атурин В.В. Управление цифровой трансформацией: научные подходы и экономическая политика / В.В. Атурин, И.С. Мога, С.М. Смагулова // Управленец. 2020. № 2. С. 67–76.

2. Шамсутдинова А.Р. Цифровые экосистемы как способ цифровой трансформации строительной сферы РФ / А.Р. Шамсутдинова, Р.Р.

Козакова // Управленческий учет. 2022. №8(1). С.76-82.

3. Горбова И.Н. Цифровая трансформация строительной отрасли России / И.Н. Горбова, Р.Р. Аванесова, М.М. Мусаев // Вестник Академии знаний. 2023. №2 (55). С. 46-50.

4. Володина Н.Л. Преимущества создания цифровой экосистемы. // Организатор производства. 2021. №29. С.104-111.

5. Москвичев М.А. Цифровая трансформация строительных организаций // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 3А. С. 294-304.

6. Вилисова А.Д. Совершенствование управления строительным проектированием на базе облачных технологий в условиях цифровизации экономики // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. №3 (37). С.5-9.

7. Вишневская А.И. Особенности концепции цифровой трансформации инвестиционно-строительной сферы / А.И. Вишневская, Т.Х. Аблязов // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 3(2). С. 28-37.

## **К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И МОНТАЖЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

**Сафончик Д.И., канд. техн. наук, доц.,  
Павлов А.С., магистрант**

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
г. Гродно, Республика Беларусь*

В Республике Беларусь активно внедряют BIM-технологии в строительной отрасли, но, несмотря на это, на данный момент по-прежнему эти технологии не охватывают всех участников строительства [1-3]. Зачастую важность использования современных технологий в производственной сфере не всегда понимают, как сами производители работ, так и заказчики.

При возведении объектов с большим количеством конструкций работники сталкиваются с ситуацией, когда необходимо монтировать конструкцию, а ее нет на строительной площадке. Это может произойти из-за того, что конструкция еще не изготовлена или не доставлена на строительную площадку. Такие случаи происходят тем чаще, чем больше объем металлоконструкций. Выход из данной ситуации – применение BIM-технологий [4, 5].

До начала монтажа требуется разработать модель здания и каждой конструкции присвоить свой индивидуальный номер (рис. 1), далее

разработать детальные чертежи с полным перечнем профилей и деталей.

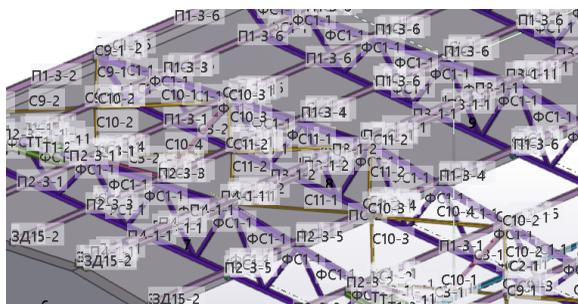


Рис. 1. Пример маркировки элементов металлоконструкций покрытия

При уже готовой BIM модели становится автоматически известно точное количество всех элементов и их маркировка. Следовательно, подрядная организация может составлять поэлементный календарный график монтажа. Зная дату монтажа элемента, становится понятно, когда этот элемент должен быть изготовлен и к какой дате необходимо осуществить закупку металлопроката, также заказчику будет известен объем финансирования на конкретный момент времени (рис. 2).



Рис. 2. Порядок действий при планировании

Используя предлагаемый алгоритм работы (рис. 2) становится проще отследить конкретный металлический элемент на любой стадии его жизненного цикла.

Сведения о металлоконструкции (сроки закупок металла, изготовления и монтажа) в любой момент времени должны быть

доступны всем участникам строительства, от поставщика до заказчика. Т.е. составляется сводная таблица и в онлайн режиме по состоянию на конец рабочего дня в нее должны быть внесены все проделанные операции за день. В подрядной организации данные должен вносить ответственный прораб, на заводе-изготовителе – начальник цеха либо начальник участка, в отделе закупок – ответственный специалист отдела снабжения. За всем процессом должен наблюдать ответственный специалист заказчика.

Рассмотрим описанный выше алгоритм на примере фрагмента балочной клетки (ячейка размером 6×6 м, состоящая из колонн, на которые опираются главные балки, а на них второстепенные).

Для создания BIM модели (рис. 3) и чертежей КМД используем программу Tekla Structures.

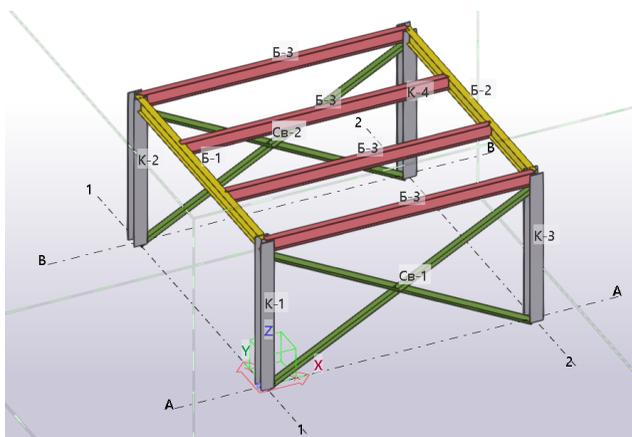


Рис. 3. 3D модель каркаса здания

После создания модели необходимо в программу Excel экспортировать таблицу с отправочными марками. Далее путем добавления данной таблицы в MS Project, в графе «Название задач» проставляются марки металлоконструкций, графу «Длительность» и порядок монтажа заполняет подрядная организация. В итоге получается график, представленный на рис. 4.

График (поэлементный график монтажа) и будет содержать в себе исходные данные для остальных участников строительства.

При составлении данного графика подрядная организация должна исходить из окончательного срока монтажа, знать наличие рабочего персонала, машин и механизмов и т.д.

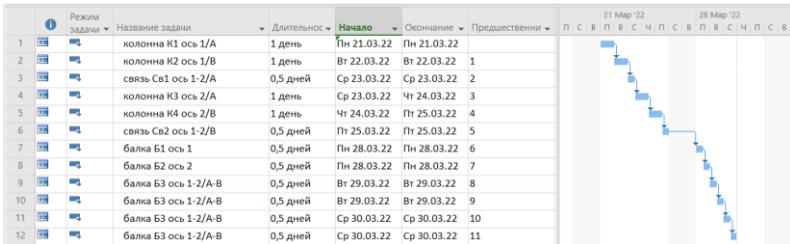


Рис. 4. График монтажа металлоконструкций

Таким образом, мы получаем конечные даты для доставки на объект каждой отправочной марки. Например, колонну K1 по оси 1/A необходимо доставить на объект до 22.03.2022 г. Поэтому завод-изготовитель должен подстроиться под данный график и составить график изготовления с запасом времени для доставки на объект (рис. 5).

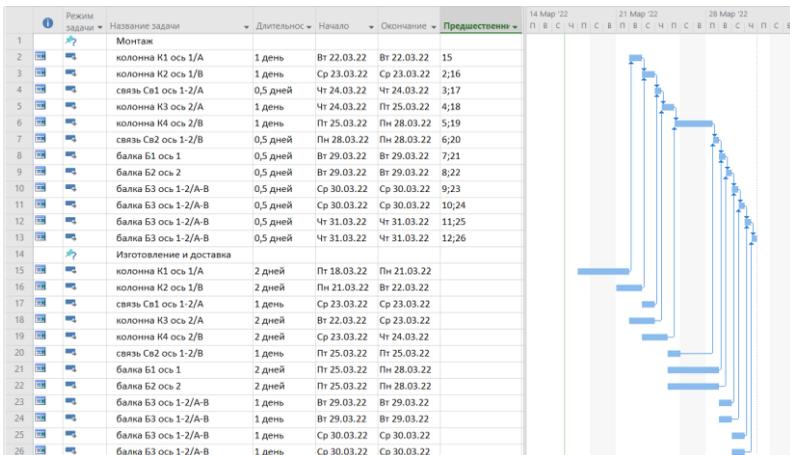


Рис. 5. График изготовления и монтажа металлоконструкций

Возможности MS Project позволяют включить в каждую работу по изготовлению металлоконструкций расход материала, потребность в инструменте, рабочем персонале, поэтому завод-изготовитель не только будет знать, когда и сколько металлопроката ему нужно, но и в каждый момент времени необходимое количество сварочных аппаратов, сварщиков и т.д.

Кроме экспорта отправочных марок из Tekla Structures в MS Project, также можно экспортировать данные по металлопрокату на каждую марку, тем самым сэкономив большое количество времени при переносе данных вручную. А это позволит нам составить график потребности

завода-изготовителя в металлопрокате, опираясь на который, отдел снабжения будет закупать именно ту часть металлопроката, которая будет необходима на определенный задел времени, тем самым не «замораживая» денежные средства.

Пример графика потребности в металлопрокате представлен на рис. 6.

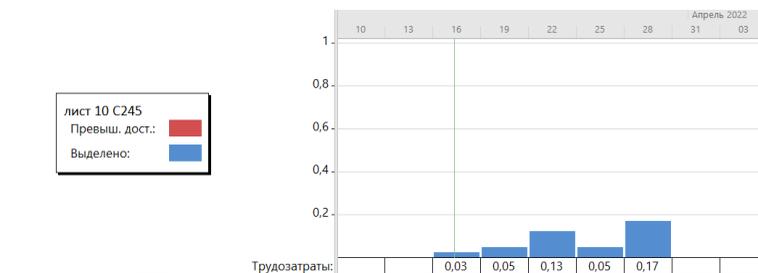


Рис. 6. График потребности в прокате листовом толщиной t10мм

Выполнение работ по изготовлению и монтажу металлоконструкций по приведенному в данной статье алгоритму позволит повысить качество работ, так как будет иметься возможность отслеживания каждого из элементов на всех этапах его жизненного цикла. Кроме того, при изготовлении металлоконструкций возможно применяя цифровую модель раскроя металлопроката снизить объем отходов металла и тем самым сократить стоимость металлоконструкций.

### Библиографический список

1. Директива президента Республики Беларусь от 4 марта 2019 г. № 8 «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли» [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P01900008&p1=1&p5=0/> (дата обращения 03.04.2025).
2. О внедрении технологии информационного моделирования [Электронный ресурс]: приказ Министерства архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 16.03.2018, № 70 // КонсультантПлюс.Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
3. About the National BIM standard-United States [Electronic resource] / – The National Institute of Building Sciences – Mode of access: <https://www.nationalbimstandard.org/about>.
4. Итоговый документ о проведении круглого стола «Внедрение в строительное производство BIM-технологий» 26 сентября 2023г. в

рамках международной специализированной выставки «БУДПРАГРЭС 2023».

5. Корабельникова С.С. Цифровые технологии как элемент снижения рисков в строительстве / С.С. Корабельникова, С.К. Корабельников // Дискуссия. – 2019. – Вып. 93. – С. 18 – 27.

## **ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,**  
*Белгородский государственный технологический университет*  
*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

**Ван Сяонин, магистрант**  
*Хулунбуирский институт, г. Хулунбуир, Китай*

Последние десятилетия строительная отрасль столкнулась с комплексом экологических, экономических и технологических вызовов, включая нерациональное использование ресурсов, значительное загрязнение окружающей среды и чрезмерную длительность возведения объектов. Эти проблемы актуализируют поиск инновационных подходов, способных трансформировать традиционные практики. Одним из перспективных направлений является развитие сборно-разборных модульных зданий, сочетающих индустриализацию производства, сокращение сроков строительства и минимизацию экологического следа, что соответствует принципам зеленого строительства (рис. 1). Данная технология, основанная на применении стандартизированных компонентов и модульных конструкций, не только повышает качество объектов, но и соответствует принципам устойчивого развития, что определяет ее как ключевой тренд в современной архитектурно-строительной отрасли [1-9].

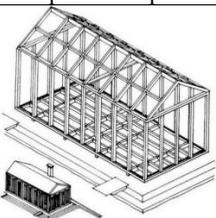


Рис. 1. Принципы зеленого строительства

Анализ исторического развития модульного строительства (табл. 1) демонстрирует его адаптивность к социально-экономическим условиям. Ранние примеры, такие как переносной дом Генри Мэннинга (XIX в.), реализовали идею мобильности и экономии ресурсов за счет упрощенной шарообразной каркасной конструкции, сохраняющей актуальность благодаря сейсмостойкости. В начале XX в. компания Aladdin популяризировала доступное жилье через почтовые заказы, делегируя сборку конечному пользователю, а проект Sears «домов по почте» масштабировал модульный подход, используя возможности дистрибуции. Однако, несмотря на успехи в универсализации, современные требования к индивидуализации пространств и функциональной гибкости выявили необходимость разработки специализированных модулей, способных расширить адаптивные возможности технологии.

Таблица 1

**Модульные дома общего назначения**

Название проекта	Характеристика проекта	Изображение проекта
Переносной дом Генри Мэннинга (XIX в.)	Стандартизированный набор строительных блоков. Простая сборка, легкая транспортировка	
Шаровая каркасная система (1833 г.)	Стандартизированные узлы из легкой древесины. Составные стены, полы. Конструкции перекрытий и крыш.	
Aladdin Homes (1940 г.)	Сборные конструкции для быстрого строительства	
Дома Сирса (Sears Homes) (XX в.)	Сборные каркасные системы	

Специализация – это ключевой фактор, который отличает модульность от стандартизации и подчеркивает преимущества массовой кастомизации. В соответствии со степенью специализации от низкой до высокой, модульные здания делятся на пять типов массовой специализации (табл. 2).

Модульные здания поддерживают «зеленую» сборку с использованием готовых компонентов и конструкции, что позволяет повысить качество, сократить период строительства, снизить потребление ресурсов и повысить экологическую адаптивность. Сборка на заводах снижает количество ошибок при строительстве, а модульная конструкция обеспечивает параллельную работу, снижает потребление ресурсов и гибко адаптируется к различным условиям.

Таблица 2

**Типы специализации модульных зданий**

Тип	Описание	Корпус
Полностью стандартизированный	Массовое производство стандартизированным способом, когда у пользователя есть только выбор готовых изделий.	Американские мобильные дома
Сегментная стандартизация	Предложение различных типов серийно выпускаемых продуктов для сегментированных рынков и разработка специализированных модулей для разных типов	Модель «Тойота Хаус» в Японии
Стандартизация под заказ	Завод производит отдельные модули, а пользователь на этапе сборки выбирает стандартные компоненты для сборки под заказ	Sears Custom Homes, США
Кастомизация	За разработку решения и компонентов отвечает поставщик, а пользователь вмешивается в разработку комплекта модулей, чтобы создать индивидуальный, специализированный модуль	Модель дизайна ИКЕА, ориентированная на пользователя
Полностью индивидуальный подход	Предлагает консультационные услуги «один на один», традиционную модель проектирования зданий на основе заказа, где каждый компонент может быть специализированным	Полностью индивидуальные интегрированные решения

Концепция экологичного строительства предполагает комплексный подход к проектированию сборных зданий, при котором принципы «зеленой» и здоровой отделки интегрируются в общую архитектурную стратегию. Ключевым аспектом становится оптимизация ориентации здания, естественной вентиляции и освещения, что позволяет

минимизировать энергозависимость объекта. Параллельно с этим выбор материалов определяется строгими экологическими и санитарно-гигиеническими критериями: предпочтение отдается нетоксичным материалам с низким содержанием летучих органических соединений, а также решениям с повышенными теплоизоляционными характеристиками, способствующим снижению энергопотребления.

Модульное проектирование, как методологическая основа, обеспечивает стандартизацию производства, повышение эффективности строительных процессов и сокращение ресурсных потерь. Данный подход дополняется принципами устойчивого проектирования, предполагающего анализ всего жизненного цикла здания – от создания до утилизации – с акцентом на долговечность, ремонтпригодность и адаптивность конструкций. Интеграция интеллектуальных систем управления (освещение, климат-контроль) усиливает энергоэффективность и эксплуатационный комфорт, формируя синергию между экологическими и технологическими аспектами.

На этапе подготовки к изготовлению модульных блоков критически важным становится детальная проработка проектной документации совместно с архитекторами и строителями, включая разработку и верификацию плана организации работ. Раннее изучение условий строительной площадки, обучение персонала ключевым технологиям сборки, а также формирование четких контрольных точек качества позволяют создать детализированный и реализуемый производственный план. Особое внимание уделяется технической спецификации, где регламентируются этапы сборки, требования к материалам и инструментам.

Структурная интеграция бетонных модулей несущих стен требует применения специализированных методов соединения, обеспечивающих монолитность конструкции и ее устойчивость к разнонаправленным нагрузкам. Технологический процесс включает предварительное встраивание взаимосвязанных элементов в сборные панели, монтаж армирующих штифтов и герметизацию швов посредством затирки (рис. 2). Для реализации данных операций используются разнотипные соединители: стандартные кольцевые проволочные элементы, С-образные пазовые системы, гнутые стержни с концевыми крюками, U-образные проволочные сетки и др. (рис. 3). Экспериментальные исследования демонстрируют зависимость конструктивных характеристик соединений от ряда параметров, включая количество вертикальных арматурных штырей, тип замковых элементов, прочность сцепления и устойчивость к динамическим воздействиям.

Сборные компоненты: сборка компонентов на заводах, быстрая сборка на месте для повышения эффективности строительства и снижения потребления ресурсов (рис. 4).

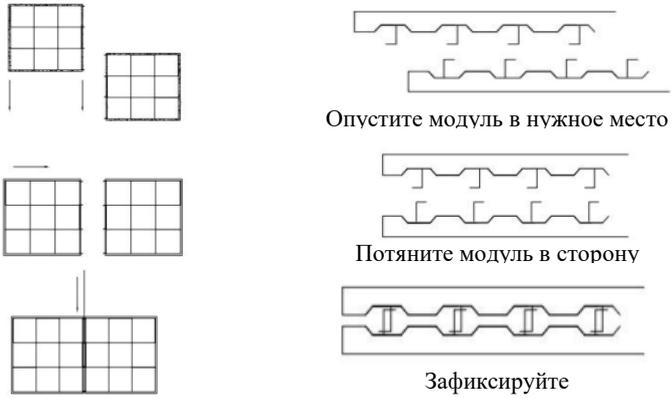


Рис. 2. Соединение между бетонными модулями

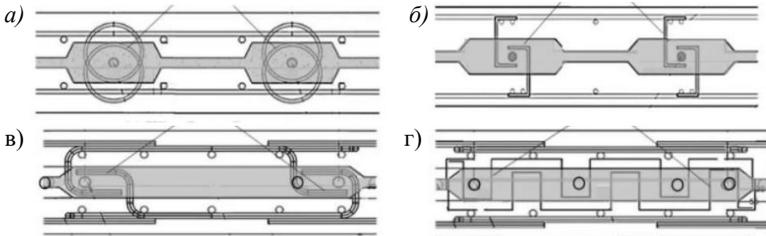


Рис. 3. Типы соединителей: *а* – соединитель проволоочной петли; *б* – соединитель С-канала; *в* – соединитель для концевой крючковой планки (EI); *г* – соединитель проволоочной сетки (AVM)



Рис. 4. Схема процесса обработки в сборочном цехе

Внедрение технологий сухого строительства демонстрирует значительный потенциал для минимизации негативного воздействия на окружающую среду в процессе возведения объектов. Данный подход, исключая использование «мокрых» процессов, позволяет существенно снизить уровень шумового загрязнения, образование пыли и объем загрязненных сточных вод, что особенно актуально для урбанизированных территорий с высокой плотностью застройки. Параллельно усиление управления экологической безопасностью на строительных площадках, включая мониторинг выбросов, утилизацию отходов и контроль за соблюдением нормативов, формирует основу для реализации принципов зеленого строительства на всех этапах жизненного цикла объекта.

Особый интерес в современной строительной отрасли вызывают аддитивно-модульные технологии, представляющие синтез аддитивного производства (3D-печати) и модульного подхода. Этот инновационный метод не только ускоряет темпы возведения конструкций за счет автоматизации процессов, но и снижает зависимость от ручного труда, оптимизируя экономические затраты. Модульность, подразумевающая заводское изготовление стандартизированных элементов с последующей их сборкой на площадке, упрощает логистику, сокращает сроки монтажа и минимизирует риски, связанные с человеческим фактором.

Практическая значимость исследований в данной области обусловлена трансформационным потенциалом аддитивно-модульных технологий для пересмотра традиционных парадигм проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Ключевые преимущества включают повышение ресурсоэффективности за счет точного расчета материалов при 3D-печати и повторного использования модулей, а также снижение углеродного следа благодаря локализации производства и сокращению транспортных операций. Наряду с этим, гибкость архитектурных решений позволяет адаптировать конструкции под динамичные требования рынка, а интеграция «умных» систем управления энергопотреблением и климатом усиливает устойчивость объектов.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Атапина Н.А. Совместное моделирование ограждающих конструкций зданий // Университетская наука. 2021. № 1 (11). С. 77-79.
2. Сулейманова Л.А. Темурзиева Р.Н., Рябчевский И.С. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью BIM-технологий // В сб.: Наука и инновации в строительстве. Международная научно-практическая конференция. Белгород, 2020. С. 121-127.
3. Рябчевский И.С. Информационное моделирование зеленого строительства // В сб.: Образование. Наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. Белгород, 2021. С. 894-898.

4. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства // В сб.: Научно-технические технологии и инновации. Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 354-359.
5. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Сулейманов К.А. Энергоэффективные технологии газобетона для зеленого строительства // В сб.: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2015. С. 142-148.
6. Баженова О.О. Зеленое строительство во взаимосвязи с экологической безопасностью строительства // Международный студенческий строительный форум - 2018 (К 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). Белгород, 2018. С. 18-22.
7. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Рябчевский И.С. Современные технологии в строительстве. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. 180 с.
8. Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Средства механизации строительства. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. 342 с.
9. Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Рябчевский И.С. Производство строительного-монтажных работ с применением технологий цифрового моделирования. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. 81 с.

## **ПОТРЕБНОСТЬ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ В КАДРАХ**

**Фотиади А.А., канд. техн. наук, доц.,  
Мамиев Д.Ж., студент,**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия*

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

В настоящее время дорожно-строительная отрасль, как и другие отрасли деятельности человека, сталкиваются с серьезными проблемами в привлечении и удержании квалифицированной рабочей силы. Спрос на квалифицированный персонал растет, что обусловлено развитием экономики, в частности со строительством крупных транспортных

объектов. Следует отметить, что и в дорожном хозяйстве наблюдается дефицит, нехватка квалифицированных работников и простых рабочих, а также происходит процесс естественного старения опытных квалифицированных инженеров в этой деятельности человека.

Постепенное увеличение объемов строительства, а, следовательно, и проектирование объектов, в том числе с учетом местных условий прохождений объектов, а также разработки новых требований к качеству работ и применение новых современных технологий приводит к увеличению потребности в профессиональных кадрах, и их переподготовку путем проведения и стажировки сотрудников компаний на повышение квалификации.

По данным проведенных исследований ФАУ «РОСДОРНИИ», предварительный прогноз в ежегодной потребности в дорожных кадрах с высшим и средним профессиональным образованием до 2030 г. в среднем составит более 83 тыс. человек в год. Из них с высшим образованием – не менее 29 тыс. человек, со средним профессиональным – не менее 53 тыс. человек [1].

Для иллюстрации общей тенденции, можно представить условную гистограмму, отражающую рост потребности в рабочих кадрах в дорожной отрасли на 2015 и 2020 гг. по данным ФАУ «РОСДОРНИИ». В 2015 г. потребность в кадрах в среднем составила 24,5 тыс. человек, 2020 г. потребность в кадрах в среднем составила 41 тыс. человек [1]. К 2030 г. потребность в кадрах в среднем составит по прогнозам 83 тыс. человек [1, 2].

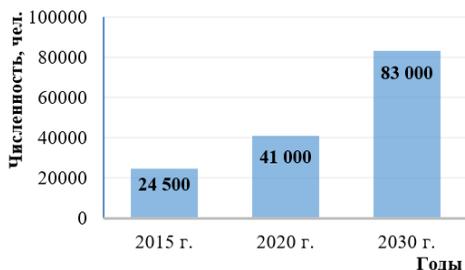


Рис. 1. Потребность в дорожных кадрах по годам

Данные демонстрируют устойчивую тенденцию, выраженную в потребности инженеров, рабочих, механизаторов и других специальностей, необходимых для дорожной отрасли в течение каждых пяти лет начиная, чтобы обеспечить прогнозируемое увеличение объемов строительства по модернизации дорожной инфраструктуры в России.

Нехватка рабочих разных специальностей и квалификации может обуславливаться нежеланием молодого поколения выбирать сферу

дорожного строительства по причине низкой заработной платы, удаленности места работы от места постоянного проживания, периодическая передислокация участков строительства и другие особенности дорожного строительства. Следует отметить, что в настоящее время появился дополнительный фактор, влияющий на нехватку рабочих, непосредственно задействованных на объектах строительства и не только на объектах транспортного строительства, но и в промышленном, гражданском строительства. К такому фактору относится ужесточение иммиграционной политики.

Отсутствие высококвалифицированных инженеров и рабочих может приводить к задержкам реализации проектов. Имеется тенденция, в случаях нехватки дорожных кадров, случаи задержек сдачи объектов в срок, с их увеличением сроков сдачи на более длительный период времени, что в свою очередь приводит к увеличению финансовых затрат. Из-за значительной потребности в дорожных рабочих на разных объектах у одной компании, компании приходится отправлять рабочих на объекты, у которых срок сдачи подходит к завершению, для ускорения процесса строительства, увеличив производительность на объекте с целью сдачи объекта в срок. Такой подход, может вызывать срыв сроков строительства на других, кажущихся менее важных, что влечет за собой также к увеличению финансовых затрат [3, 4].

Кроме непосредственно рабочих занятых в сфере строительства, имеется также нехватка инженеров в сфере разработки проектов. В этой области также наблюдается нехватка высококвалифицированных специалистов. Инженеры часто не имеют должной подготовки, особенно при проектировании транспортных объектов в уникальных или сложных условиях по геологическим или природно-климатическим особенностям. По этой причине, может также наблюдаться определенная задержка в разработке проектной документации и реализации проекта в целом [5].

В настоящее время некоторые дорожные компании задумываются о создании программ привлечения молодых специалистов в свою организацию. Цель данных программ по привлечению молодых специалистов заключается в создании серьезных мер поддержки с последующей отработкой сформировавшегося специалиста в этой организации. К мерам поддержки следует отнести их обучение в учебных заведениях, выделения ежемесячных стипендий, предоставление жилья, получение единовременной выплаты и получение суды на дальнейшее обустройство, и как следствие выгодные условия труда – «Идея прошлых лет».

Существующая проблема в дефиците высококвалифицированных кадров и рабочих разных специальностей в дорожной отрасли и в

транспортном строительстве в целом должна решаться комплексно.

Если рассматривать сложившуюся в государстве систему взаимоотношений рабочего и работодателя, то решение данной проблемы возможно с участием ведущих дорожных компаний с участием частных денежных средств, однако имеется ли такое желание у частных компаний в значительных объемах – Вопрос, который требует серьезного анализа!

Другой подход к подготовке и заинтересованности прихода молодых специалистов в дорожную отрасль заключается в непосредственном участии государства, путем его обучения с последующей отработкой в данной сфере – «Идея прошлых лет»!

Следует отметить, что как для поднятия престижа инженера строителя в обществе, так и благополучия каждого молодого специалиста, государство всегда имеет более широкие возможности, обладая при этом значительными финансовыми ресурсами и другими мерами социальной поддержки.

### **Библиографический список**

1. Официальный сайт Федерального дорожного агентства (Росавтодор) – Электрон. данные. – URL: <https://rosdornii.ru/press-center/press/otraslevye/dorogu-molodym/> (дата обращения: 27.03.2025).
2. Официальный сайт Государственной компании «Автодор» – Электрон. данные. – URL: <https://www.russianhighways.ru/press/news/86663/> (дата обращения: 27.03.2025).
3. Попова Е.А., Борщ В.В., Стрижевский Д.А. Оценка кадровых потребностей дорожного хозяйства с учетом применения новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений // Дороги и мосты. 2019. №42(2). С. 33–44.
4. Профессиональный стандарт 16.025 «Организатор строительного производства». – Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 26.06.2017 г. №516н. – Введ. 12.09.2017 г. – Электрон. данные – URL: <https://classinform.ru/profstandarty/16.025-organizator-stroitelnogoproizvodstva.html> (дата обращения 29.10.2019).
5. Носов В.П., Гнездилова С.А. Учет влияния региональных природных особенностей на расчетные характеристики грунтов при проектировании дорожных одежд // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 18–22.

# НАПРАВЛЕНИЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

## КРИТЕРИЙ НАРУШЕНИЯ АНКЕРОВКИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Демин В.О., аспирант

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

Одним из факторов, обеспечивающих безопасность эксплуатации железобетонных конструкций, является анкеровка стальных арматурных стержней в бетоне. Анкеровка арматуры в бетоне позволяет передать усилие с арматурного стержня на бетон, обеспечивая совместность деформаций, что в целом позволяет рационально использовать свойства стали и бетона в составе единого композитного материала.

Отсутствие анкеровки арматурных стержней может нарушить связь арматура-бетон, что впоследствии может привести к нарушению совместности деформаций и распаду композитного материала на отдельные составляющие, в конечном итоге приводя к отказу конструкции.

Одним из факторов, способных привести к нарушению анкеровки стального арматурного стержня в бетоне является коррозия арматуры, уменьшающая не только площадь сечения рабочей арматуры, что само по себе снижает несущую способность, увеличивает деформативность конструкции, но и уменьшает величину рифов арматуры периодического профиля, что негативно сказывается на обеспеченности анкеровки стержня.

Оценка остаточного ресурса является актуальной темой. Многочисленные исследования по вопросам надежности проводятся для различных зданий и сооружений [1-3]. Немало внимания уделено оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций, работающих в различных силовых и средовых условиях [4-9]. Оценка достаточности анкеровки стальной арматуры периодического профиля в бетоне в условиях коррозионных повреждений приводится в работах [10, 11]. В качестве одного из критериев оценки остаточного ресурса железобетонных элементов предложено считать в том числе потерю зацепа рифов арматуры из-за уменьшения высоты рифов от коррозии и выдавливания бетона из зацепления продуктами коррозии [12].

На долю величины сцепления механическим зацеплением

искусственных выступов и неровностей приходится не менее 70 %, на трение поверхности бетона и арматуры не более 20 % и незначительная величина приходится на силы адгезии. Так как изначальный вклад в сцепление невелик, а также учитывая, что для анкеровки арматуры гладкого профиля требуется использовать различные конструктивные решения по типу загибов или иных устройств, можно утверждать, что сцепление рифов с бетоном является единственным весомым фактором сцепления арматуры с бетоном [10, 11]. Исключение из работы этого фактора зацепления может привести к непредсказуемому продергиванию арматуры в теле бетона, что ведет к нарушению совместной работы железобетонного элемента с последующим его разрушением.

Так как зацепление бетона с арматурой ведется за счет физического упора рифов арматуры за бетон, тогда в случае, когда арматурные выступы не будут перекрывать бетон (рис. 1), зацепление можно считать отсутствующим.

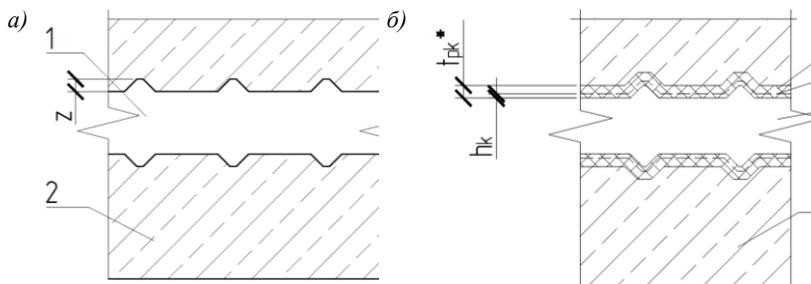


Рис. 1. Определение величины рифов сплошной коррозии арматуры периодического профиля: *a* – арматура без коррозии; *б* – арматура с коррозией; 1 – арматурный стержень; 2 – бетон; 3 – продукты коррозии арматуры; 4 – габарит арматурного стержня без коррозии

Для наступления ситуации, описанной выше, достаточно выполнения условий, при котором сумма глубины коррозии и продуктов коррозии арматуры превысит изначальную высоту рифов. Продукты коррозии арматуры, расширяясь, выдавливают бетон от арматурного стержня, уменьшая величину зацепа рифов.

В результате данного процесса может произойти увеличение обжатия арматурного стержня и вследствие этого сил трения по поверхности бетона с арматурой в сцеплении, однако ввиду последующего разрушения защитного слоя с образованием продольных трещин этот процесс не учитывается.

Соотношение толщины продуктов коррозии и средней глубины коррозии оценивается по выражению:

$$h_k = 0,6t_{pk}, \quad (1)$$

где  $h_k$  – средняя глубина коррозии, мм;  $t_{pk}$  – средняя толщина продуктов коррозии, мм.

Остаточная величина зацепа рифов рассчитывается по формуле

$$z_k = z - t_{pk}, \quad (2)$$

где  $z$  – величина рифа, мм;  $z_k$  – остаточная величина рифа, мм.

Подставив (1) в выражение (2), получим:

$$z_k = z - \frac{5}{3} h_k. \quad (3)$$

Сцепление можно считать обеспеченным, пока  $z_k > 0$ . Таким образом, критической глубиной коррозии считается величина:

$$h_k = \frac{3}{5} z. \quad (4)$$

Произведем расчет критической глубины сплошной коррозии для арматуры по ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия». Для расчета взят ряд стержней арматуры формы профиля 2ф и рассчитана величина коррозии, при которой анкеровку арматуры в бетоне следует считать необеспеченной по причине выхода рифов из зацепа за бетон. Номинальный диаметр, величина рифов и площадь взята из ГОСТ 34028-2016. Потеря площади считается как для сплошной равномерной коррозии. Результаты расчета сведены в табл.1.

Таблица 1

**Оценка потерь площади поперечного сечения арматуры  
различных диаметров профиля 2ф**

Номинальный диаметр, мм	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	Высота рифов, мм	$h_k$ , мм	$A_{s, ост.}$ , мм <sup>2</sup>	$A_{s, ост.}$ , %
12	113,1	>1,0	0,6	102,1	90,3%
18	254,5	>1,3	0,78	232,9	91,5%
25	490,9	>1,7	1,02	451,6	92,0%
40	1256,6	>2,7	1,62	1156,9	92,1%

Проведем аналогичный расчет для арматуры различных форм диаметра 12. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Оценка потерь площади поперечного сечения арматуры  
диаметром 12 мм различных профилей**

Форма профиля	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	Высота рифов, мм	$h_k$ , мм	$A_{s, ост.}$ , мм <sup>2</sup>	$A_{s, ост.}$ , %
1ф	113,1	1,25 ± 0,5	0,45 – 1,05	94,2 – 104,8	83,3 – 92,6%
2ф	113,1	>1,00	0,6	102,1	90,3%
3ф	113,1	>0,9	0,54	103,1	91,2%
4ф	113,1	>1,00	0,6	102,1	90,3%

Произведенные расчеты показывают, что уже при незначительной по глубине сплошной коррозии стальной арматуры (8-10% потери сечения) может происходить нарушение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне. К тому же продукты коррозии производят внутреннее давление на бетон, образуя продольные трещины в конструкциях в местах расположения арматуры, что также может увеличить скорость коррозии.

В действительности анкеровка рабочей продольной арматуры зачастую сохраняется по нескольким причинам, среди которых заземление на опоре, связь с поперечным армированием, случайный характер распространения коррозии, силы трения в зоне контакта бетон-продукты коррозии-арматура.

Величина предельно допустимой коррозии незначительно зависит от номинального диаметра стержня и типа профиля и может быть усреднена для всех арматурных стержней, для упрощения процедуры оценки предлагается принять критической потерю сцепления при коррозии арматуры на 10 % от площади сечения при сплошной по сечению и длине характеру коррозии.

#### **Библиографический список**

1. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2004, 72 с. ISBN 5-93090-
2. Леденев В.В., Однолюк В.Г. Анализ причин аварий зданий и сооружений и пути повышения их надежности // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18, № 2. С. 449-457. – EDN OZEXCB.
3. Миронов Д. А., Долгополов В.В., Клисенко Л.Б. Оценка остаточного ресурса зданий и сооружений // Потенциал современной науки. 2015 № 8(16). С. 52-56. – EDN VBPIWR.
4. Беляев, С. М. Расчет остаточного ресурса зданий с учетом запаса несущей способности конструкций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 3(11). С. 22-25. – DOI 10.17673/Vestnik.2013.03.3. – EDN RSDLMN.
5. Никитин С. Е. Оценка долговечности коррозионно-поврежденных железобетонных конструкций на базе диахронной модели деформирования // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 242. – EDN OXCNJX.
6. Пермяков М. Б. Расчет и оценка остаточного ресурса зданий // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 50. № 3. С. 48-53. – EDN RFUYUD.

7. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен). Монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 424 стр. с илл.

8. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов А.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Смоляго Е.Г. Оценка остаточного ресурса несущей способности сборных безбалочных железобетонных перекрытий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6(69). С. 66-73. – EDN XWLIBJ.

9. Смоляго Г. А., Фролов Н.В. Прикладной способ прогнозирования коррозионных повреждений и остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с учетом опыта эксплуатации объектов-аналогов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 49-54. – DOI 10.12737/article\_5c73fc0ef063c3.60645861. – EDN YXMXNZ.

10. Liu Y. Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures / Y. Liu, R.E. Weyers // ACI Materials Journal. – 1998. – Vol. 95. — No. 6. — Pp. 675-681.

11. Lushnikova, V. Y. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete / V. Y. Lushnikova, A. G. Tamrazyan // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No 4(80). – P. 128-137. – DOI 10.18720/MCE.80.12. – EDN XYLDVB.

12. Шмелев, Г. Д. Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, И. В. Николайчев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2013. – № 7. – С. 167-175. – EDN RYFUNZ.

## **УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА**

**Нестеров Д.М., аспирант,  
Абсиметов В.Э., д-р техн. наук, проф.,  
Салтанова Е.В., ст. преп.**

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

Человеческая деятельность всегда ориентирована на достижение определенных результатов в будущем. Между начальными усилиями и

конечным результатом всегда существует временной промежуток, а также неизбежны затраты ресурсов. При этом конечный результат не всегда можно точно предсказать из-за воздействия различных факторов. Это стало причиной возникновения таких понятий, как риск и неопределенность.

Неопределенность заключается в том, что представления о параметрах будущего бывают неполными или неточными. Это может быть вызвано разными причинами, но чаще всего – недостатком информации или ее искажением об условиях, в которых будут реализованы решения, а также о сопутствующих расходах и результатах.

Принятие решений в условиях неопределенности требует особого подхода. Важно учитывать, что информация может быть неполной или недостоверной. Это создает риски и влияет на качество решений.

Неопределенность экономических процессов обусловлена тем, что будущее всегда содержит элементы непредсказуемости. На момент принятия решения мы не можем знать точно, какие факторы возникнут и как они повлияют на ситуацию. Это требует от нас гибкости и способности быстро адаптироваться к изменениям.

Кроме того, существует вероятность случайной реализации факторов, которые были известны на момент принятия решений, но их конкретное воздействие остается неизвестным. Это добавляет еще один уровень сложности в процесс управления и требует дополнительных усилий для анализа и прогнозирования.

Наконец, действия и противодействия конкурентов и других контрагентов также могут стать источником неопределенности. Анализ этих факторов требует значительных усилий и ресурсов, а также глубокого понимания рынка и поведения участников.

Строительные проекты требуют много ресурсов рабочей силы, финансирования, оборудования, материалов и технических возможностей и характеризуются длительностью реализации. Данные организационные факторы, а также соблюдение конкретных ограничений для каждого проекта с точки зрения стоимости, времени и качества увеличивают вероятность появления неопределенностей и рисков, которые влияют на время реализации строительного проекта и увеличение его стоимости. Необходимо понять и проанализировать природу рисков, чтобы разработать стратегию их оценки. В особой степени это касается организационных рисков, как наиболее крупной и значимой группы [1].

Организационные риски – это риски связанные, в первую очередь, с организацией функционирования фирм – ошибками сотрудников (в том числе руководства) внутреннего контроля, неточно разработанными правилами. Организационные риски могут проявляться также и на фоне недостаточно высокого уровня проведения самих работ,

непроработанного порядка использования техники и технологий [2].

Оценка организационных рисков помогает руководителям проектов расставлять правильные приоритеты, распределять ресурсы, принимать надежные решения, способствуя успеху проекта и достижению его целей, или передать риск стороне, которая может управлять им. Основная проблема данного исследования – выявление организационных рисков на этапе реализации строительных проектов в России. Когда риски должным образом идентифицированы, их можно проанализировать, оценить и определить соответствующие меры по их устранению, чтобы достичь обоснованных шагов по оценке рисков и максимально эффективного и результативного итога в достижении целей [3].

Общая задача этого исследования – реализовать процедуру управления рисками в строительном проекте и глубже изучить возникновение рисков в период строительства, следовательно, улучшить результаты проекта, снизить как финансовые, так и временные затраты на реализацию строительных проектов при повышении надежности принимаемых решений.

Среди отечественных и иностранных исследователей, которые занимались аспектами управления рисками в строительных организациях, можно выделить, к примеру, Р. А. Агабейли, Б. Г. Кима, А. В. Лебедева, S. M. El-Sayegh, S. Sousa, A. A. Karimi, В. А. Зорина и др.

Цель дальнейшей работы – разработка механизма оценки организационных рисков в производственно-хозяйственной деятельности строительных компаний. В соответствии с данной целью автором решены следующие задачи:

- изучить теоретические и методические основы для оценки организационных рисков;
- провести анализ и систематизацию рисков в деятельности строительных фирм
- создать программу для оценки организационных рисков
- разработать и апробировать методику выбора рационального организационного риск-менеджмента в строительном комплексе России.

Практическое значение работы будет обусловлено следующими положениями: разработанные теоретические и методические положения могут быть применены при реализации строительных проектов по управлению организационными рисками в строительных фирмах России и непосредственной реализации методики по управлению рисками, а также получению рациональных, экономически обоснованных организационных решений.

Чтобы процесс оценки рисков проводился на всех этапах реализации проекта, будет предложено изменение штатного расписания компании и создание нового отдела в составе Центра управления проектами – отдела по анализу и управлению рисками. Для этого будет предложено внести

изменения в локально-нормативную документацию компании на уровне управления проектами. С каждым риском увязываются факторы и возможные результаты. Помимо этого, продумываются мероприятия, направленные на ликвидацию/нивелирование рисков, отмечаются параметры, в соответствии с которыми ведется наблюдение за исполнением предписаний.

В исследовании проанализируем несколько переменных, которые классифицируются согласно его основным целям. Первая группа переменных включает в себя многолетний опыт, накопленный участниками исследования и респондентами в строительной отрасли, уровень их образования, страны, в которых они получили большую часть своего опыта. Ожидается, что, когда эти переменные будут приняты во внимание при проведении анализа данных, результаты, полученные на основе анализа, обеспечат реалистичные, применимые и практические идеи и рекомендации, касающиеся процесса управления рисками проекта в строительной отрасли. Также ожидается, что эти выводы окажут положительное влияние на область оценки рисков проекта. Вторая группа переменных включает в себя вероятность возникновения и уровень воздействия рисков. Когда критически проанализированы собранные данные для переоценки выявленных общих рисков, которые обычно упоминаются при управлении крупными проектами в строительной отрасли, будут рассмотрены две основные переменные. Этими переменными являются вероятности возникновения рисков и уровни их влияния на цели проекта [4].

С помощью анализа будут выявлены факторы, изменение которых влияет на показатель эффективности проекта. Затем путем проведения экспертной оценки и применения коэффициента конкордации выявятся наиболее значимые риски проекта развития строительного кластера.

Наконец, тип и частота стратегий снижения риска, которые будут предложены и упомянуты участниками исследования и интервьюируемыми, также будут приниматься в качестве важной переменной при проведении анализа данных. При этом можно рекомендовать эффективные и практически применимые стратегии снижения рисков и внедрить эффективный процесс оценки рисков [5].

Реализация результатов исследований будет произведена посредством внедрения программы для оценки рисков в строительных организациях города Москвы, Новосибирска, Краснодара, Иваново, Белгорода и Белгородской области.

### **Библиографический список**

1. Измайлович С.В. О сущности и концепции управления риском на предприятии // Вестник ПГУ. -1999. - № 1,- С. 44-46.

2. Чернова Г.В. Практика управления рисками на уровне предприятия. - Спб.: Питер, 2000. - 176 с.

3. Хохлов Н.В. Управление риском: Учеб. пособие для вузов. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 1999. - 239 с

4. Шевченко Ж. А. Страхование: Учеб. пособие. / Ж. А. Шевченко. Н.Новгород: ННГАСУ, 2003. – 132 с.

5. Абсиметов В. Э., Салтанова Е. В. К определению долговечности и надежности строительных конструкций // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 70-75. – EDN FXMGNL.

## **О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ НА ЗАВЕРШАЮЩЕМ ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ**

**Никulina Ю.А., ст. преп.,**

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

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

Обеспечение надежности и долговечности несущих конструкций объекта капитального строительства является приоритетным направлением при управлении его жизненным циклом. Очень важным аспектом с точки зрения конструктивной безопасности длительно эксплуатируемых зданий и сооружений является несущая способность основных конструктивных элементов на завершающем этапе их жизненного цикла, то есть в конце заданного срока службы объекта.

В данной статье представлены некоторые результаты, связанные с разработкой методики прогнозирования деформативно-прочностных характеристик бетонов несущих железобетонных конструкций в составе зданий непроизводственного назначения, с учетом длительной эксплуатации данных конструкций и при различных влажностных условиях окружающей среды [5]. В зависимости от средней относительной влажности воздуха во внутренних помещениях зданий в СП 63.13330 предлагается учитывать три группы условий эксплуатации железобетонных конструкций при продолжительном действии нагрузки:

1) благоприятные условия эксплуатации при относительной

влажности воздуха более 75 %;

2) нормальные условия эксплуатации, характеризуемые диапазоном величин относительной влажности воздуха от 40 до 75 %;

3) неблагоприятные условия эксплуатации при относительной влажности воздуха менее 40 %.

Для каждой из указанных трех групп в СП 63.13330 приведены усредненные значения предельных относительных деформаций при осевом сжатии ( $\epsilon_{b0}$ ) и при неоднородном сжатии ( $\epsilon_{b2}$ ).

Параметр  $\epsilon_{b2}$  соответствует наибольшей величине относительной деформации в сжатой зоне бетона изгибаемого или внецентренно сжатого элемента при его разрушении по сжатой зоне. Расчетные сопротивления бетона осевому сжатию  $R_b$  приняты в СП 63.13330 без учета влияния относительной влажности воздуха.

Для разработки методики определения деформативно-прочностных характеристик бетонов с учетом различных влажностных условий на завершающем этапе эксплуатации объектов капитального строительства принят энергетический подход к разрушению бетона, впервые предложенный проф. В.М. Бондаренко [1], где учет режимности нагружения выполнен на основе постулата об инвариантности величины удельной потенциальной энергии деформирования материала к моменту его разрушения:

$$W_{\text{эт.}}^0 = W_{\text{дл.}}^0 = \text{const} . \quad (1)$$

Представляется, что аналогичный подход можно применить для определения длительной прочности бетона, находящегося в условиях неоднородного сжатия, характеризуемого периодом нагружения образца до разрушения в течение срока его службы, равного, например, 75 лет.

На рисунке 1 представлены 4 графика, показывающих качественный вид диаграмм «напряжения – относительные деформации» для неоднородного нагружения и для длительного периода нагружения при различных условиях.

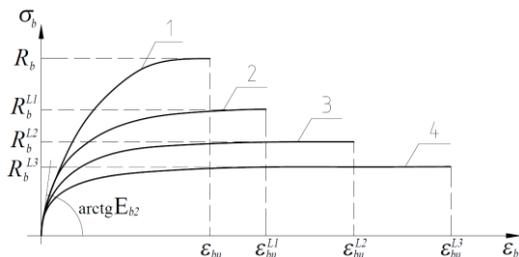


Рис. 1. Диаграммы деформирования бетона при неоднородном кратковременном (кривая 1) и неоднородном длительном сжатии с учетом различных условий эксплуатации (кривые 2, 3, 4)

Чтобы перейти к непосредственному применению постулата В.М. Бондаренко, необходимо последовательно определить параметры нелинейных диаграмм центрального (эталонного), неоднородного кратковременного и неоднородного длительного сжатия бетона заданного класса по прочности на сжатие. Для аналитического описания диаграмм деформирования бетона при кратковременном и длительном нагружении для случаев как центрального, так и неоднородного сжатия используем дробно-рациональную функцию одного и того же вида:

$$\sigma_b = \frac{E_{bj}\varepsilon_b(1 + D_{bj}\varepsilon_b)}{1 + C_{bj}\varepsilon_b}, \quad (2)$$

где  $E_{bj}$ ,  $D_{bj}$ ,  $C_{bj}$  – начальный модуль упругости и параметры нелинейности деформирования бетона, получаемые экспериментально-теоретическим путем [2, 3, 4]. Принадлежность к длительному нагружению обозначается верхним индексом  $Li$  (например,  $D_{bj}^{Li}$ ), в составе которого используется номер группы влажностных условий эксплуатации железобетонных конструкций ( $i = 1, 2, 3$ );  $\sigma_b$ ,  $\varepsilon_b$  – текущие значения напряжений и относительных деформаций при сжатии.

Для нахождения указанных параметров диаграмм центрального кратковременного сжатия бетона ( $E_{b1}$ ,  $D_{b2}$ ,  $C_{b3}$ ,  $\varepsilon_{bR}$ ) используются как обобщенные экспериментальные данные [4, 6], так и общепринятые теоретические предпосылки [2, 3].

Как отмечается в ряде ранее опубликованных работ [2, 4], для аналитического описания криволинейных эпюр напряжений в сжатых зонах изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов следует применять диаграммы деформирования бетона при неоднородном кратковременном сжатии (рис. 2), получаемые путем трансформирования эталонных диаграмм на основе использования ряда гипотез и допущений [3, 4].

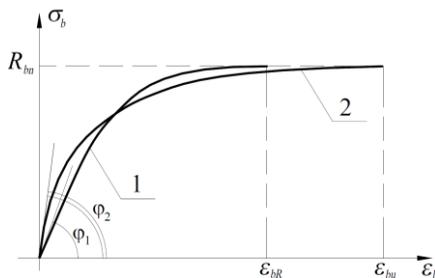


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона при центральном (эталонном) и неоднородном кратковременном сжатии (кривые 1 и 2):  $\varphi_1 = \arctg(E_{b1})$ ;  $\varphi_2 = \arctg(E_{b2})$

Для получения параметров диаграмм длительного неоднородного сжатия бетона при различных условиях его эксплуатации в течение всего срока службы в составе зданий и сооружений принимаем следующие гипотезы и допущения:

- начальные модули упругости бетона при неоднородном кратковременном и длительном сжатии равны между собой;
- касательный модуль деформаций в предельной точке диаграммы неоднородного длительного сжатия равен нулю;
- предельные величины относительной деформации бетонов при неоднородном длительном сжатии принимаются различными в зависимости от их классов по прочности на сжатие и от принадлежности к одной из трех групп по условиям длительной эксплуатации;
- величина удельной энергии деформирования бетона при неоднородном сжатии непосредственно перед его разрушением является константой, не зависящей от времени нагружения изгибаемого элемента [1].

Так как при аналитическом отображении принятых гипотез практически все уравнения имеют нелинейный характер, то для их совместного решения авторами разработана программа для ЭВМ «Beton\_1L», в составе которой применяется итерационная процедура, которая с высокой точностью позволяет найти искомые характеристики диаграммы неоднородного длительного сжатия бетона. С помощью указанной программы были рассчитаны искомые параметры деформативно-прочностных характеристик тяжелых бетонов различных классов по прочности на сжатие для каждой из 3-х групп условий их эксплуатации ( $E_{b2}$ ,  $R_b^{Li}$ ,  $\varepsilon_{bu}^{Li}$ ). Выполненные с помощью этой программы расчеты позволили выявить влияние относительной влажности окружающего воздуха на деформативно-прочностные характеристики бетонов железобетонных конструкций и установить при этом следующие закономерности:

1. Значения предельных относительных деформаций бетона при неоднородном длительном сжатии  $\varepsilon_{bu}^{Li}$  возрастают с ростом прочности бетона. При этом для благоприятных условий эксплуатации бетона значения параметров  $\varepsilon_{bu}^{L1}$  оказались в 1,33 раза меньше по отношению к соответствующим величинам  $\varepsilon_{bu}^{L3}$ , полученным применительно к неблагоприятным условиям эксплуатации.

2. Рекомендованные СП 63.13330 усредненные значения предельной относительной деформации бетона для 3-х групп условий эксплуатации наиболее близко соответствуют классу В35.

3. Что касается величин предельных сопротивлений бетонов при

длительном нагружении  $R_b^{Li}$ , то можно отметить, что усредненный коэффициент снижения прочности, принятый в СП 63.13330 равным 0,69, можно применять только к бетону, эксплуатация которого осуществлялась в нормальных условиях. При благоприятных условиях эксплуатации указанный коэффициент оказался заметно выше (от 0,77 при классе бетона В100 до 0,85 при В10). А для неблагоприятных условий эксплуатации наблюдается обратная тенденция: все рассчитанные коэффициенты оказались меньше, чем усредненный коэффициент снижения прочности, принятый в СП 63.13330 равным 0,69. В частности, указанный коэффициент изменяется от 0,53 для класса бетона В100 до 0,61 при В10).

Каждый объект капитального строительства в процессе своего существования проходит несколько этапов жизненного цикла, и в интересах эффективного управления им, в частности, при принятии технических решений на завершающем этапе эксплуатации, представленная методика позволяет уточнить характеристики его железобетонных элементов и рассчитать их оптимальные количественные значения.

#### **Библиографический список**

1. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Изд-во ХГУ, 1968. 324 с.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
3. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Предельная прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения энергетического критерия разрушения бетона // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Курск. гос. ун-т, 2014. С. 98-107.
4. Никулин А.И. Энергетический подход к трансформированию эталонных диаграмм сжатия бетона // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 12-14.
5. Никулина Ю.А. Факторы, оказывающие влияние на эффективность системы управления объектом капитального строительства на всех этапах его жизненного цикла // VII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в строительстве». Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. С. 237-240.
6. Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой, механизм его разрушения и оценка этого процесса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 68-75.

## РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В STATISTICA NEURAL NETWORKS ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Амелин П.А., ст. преп.**

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

**Овчинников Е.В., д-р техн. наук, доц.**  
*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
г. Гродно, Республика Беларусь*

Цифровизация строительной отрасли позволяет автоматизировать процессы проектирования, управления и контроля качества на всех этапах жизненного цикла объекта [1]. Современные цифровые инструменты обеспечивают сбор и анализ больших объемов данных о материалах, технологиях и условиях эксплуатации [2-4].

Прогнозирование прочности железобетонных конструкций – важная задача в строительной механике и проектировании. Традиционные методы расчета основаны на аналитических формулах, но они не всегда учитывают нелинейные эффекты и взаимодействие множества факторов. Машинное обучение, предлагает альтернативный подход, позволяющий выявлять сложные зависимости в данных [5].

Существуют различные подходы машинного обучения к обучению моделей на основе данных, основными из которых являются обучение без учителя (Unsupervised Learning), обучение с учителем (Supervised Learning), обучение с подкреплением (Reinforcement Learning), ансамблевые методы (Ensemble Methods), нейронные сети и глубокое обучение (Neural Networks and Deep Learning) (рис. 1).

Statistica Neural Networks (SNN) – специализированный инструмент для построения и анализа нейросетевых моделей. В данной работе исследуется применение многослойных перцептронов в SNN для предсказания прочности железобетонных элементов [6].

В Statistica Neural Networks доступны различные типы сетей:

- многослойный перцептрон (MLP), наиболее распространенный вариант для регрессионных задач;
- радиально-базисные сети (RBF), эффективны при нелинейных зависимостях;
- сети Кохонена, для кластеризации данных.

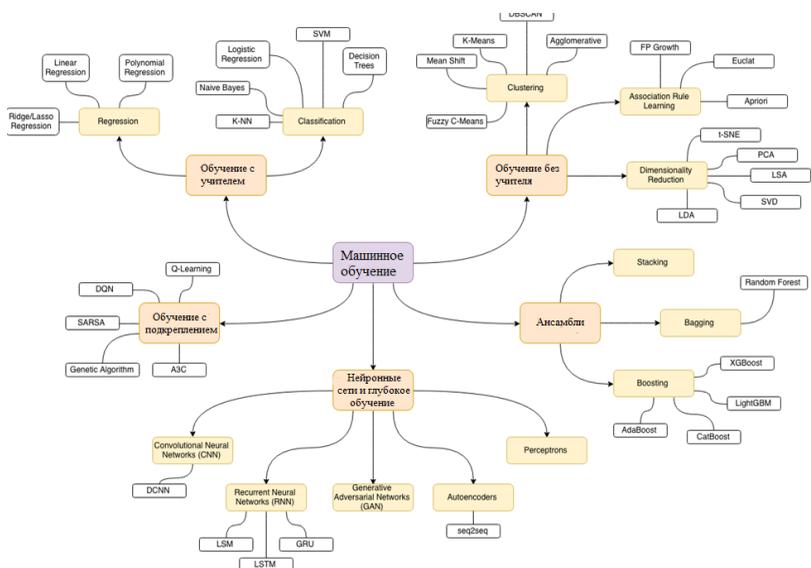


Рис. 1. Структура подходов и алгоритмов машинного обучения (ML)

Прогнозирование прочности усиленных железобетонных элементов является регрессионной задачей и выполняется на основе использования многослойных перцептронов (MLP) [6].

Многослойный перцептрон – это искусственная нейронная сеть прямого распространения, состоящая из входного, скрытых и выходного слоев. Каждый нейрон связан с нейронами следующего слоя через весовые коэффициенты, а его активация определяется нелинейной функцией (ReLU, сигмоида, гиперболический тангенс).

Преимущества MLP для прогнозирования прочности:

- способность аппроксимировать любые непрерывные функции (теорема Колмогорова-Арнольда);
- учет нелинейных взаимодействий между параметрами (состав бетона, армирование, нагрузки);
- адаптивность к новым данным за счет обучения.

Входной слой созданной искусственной нейронной сети (ИНС) (рис. 2) состоит из независимых переменных – призмной прочности бетона  $R_b$  (МПа), ширины поперечного сечения  $b$  (мм), высоты поперечного сечения  $h$  (мм), предела текучести стальной арматуры растянутой зоны  $R_s$  (МПа), коэффициента стального армирования  $\mu_s$

(%), снижения площади поперечного сечения арматуры вследствие коррозии  $\Delta A_s$ , прочности полимеркомпозитного холста  $R_f$ , (МПа), коэффициента полимеркомпозитного армирования  $\mu_f$  (%), расстояния от опоры до места приложения сосредоточенной силы  $l$  (мм). Выходной слой включает зависимые переменные – значения изгибающего момента  $M_{ult}$ , (кН·м) и разрушающей нагрузки  $P_{ult}$ , (кН) [7].

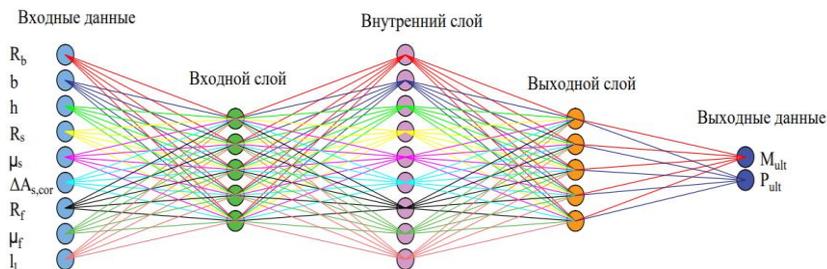


Рис. 2. Архитектура созданной нейронной сети

Этапами предобработки являлись:

- нормализация данных (минимум-максимум, Z-score);
- разделение на обучающую, валидационную и тестовую выборки (70/15/15 %);
- проверка на мультиколлинеарность и выбросы;
- настройка функций активации – ReLU (скрытые слои), линейная (выход);
- алгоритм обучения – обратное распространение ошибки (Backpropagation) с оптимизатором Adam;
- критерии остановки – ранняя остановка при переобучении (по валидационной выборке).

Для обучения нейронной сети применялся метод многократных подвыборок, в многослойном персептроне использовались от 5 до 30 нейронов на внутреннем слое сети [8]. На основе анализа была выбрана одна нейросеть, имеющая наибольшую степень соответствия фактическим значениям. Это подтверждается графиками для валидации набора данных нейросетевого прогнозирования, а именно гистограммой остатков распределения ошибок, соответствующему нормальному закону распределения Гаусса-Лапласа, а также графиком сравнения прогнозных и фактических значений (рис. 3).

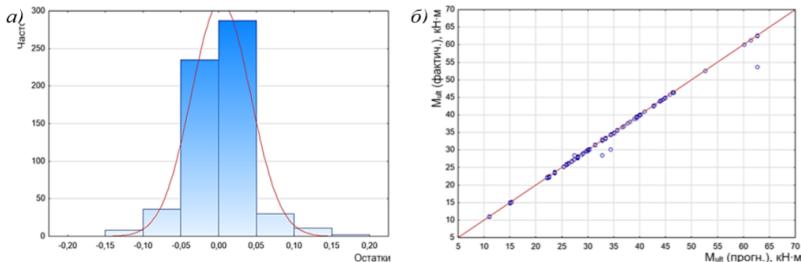


Рис. 3. Графики для валидации набора данных нейросетевого прогнозирования

Полученные регрессионные модели допускают среднюю абсолютную ошибку (MAE) для набора данных изгибающего момента – 0,74 %; для разрушающей нагрузки – 0,84 %. Визуальный анализ графиков «предсказание vs реальные значения» подтверждает адекватность MLP.

Применение многослойных перцептронов в Statistica Neural Networks позволяет эффективно прогнозировать прочность железобетонных элементов с учетом сложных нелинейных зависимостей.

Ключевыми факторами успешного прогнозирования прочности усиленных железобетонных изгибаемых элементов являются:

- качественная подготовка данных;
- оптимальный выбор архитектуры сети;
- правильная настройка гиперпараметров.

Применение MLP при прогнозировании физико-механических характеристик железобетонных конструкций предлагает большую гибкость в настройке параметров, таких как количество слоев, число нейронов в каждом слое и тип функции активации, что позволяет адаптировать модель под конкретные задачи и условия эксплуатации. Этот подход обеспечивает высокую универсальность модели, позволяя ей эффективно обучаться на больших объемах данных, что особенно важно в контексте анализа железобетонных конструкций на различных стадиях их жизненного цикла.

Таким образом, использование ИНС, и, в частности, многослойных перцептронов, для прогнозирования несущей способности железобетонных элементов является перспективным направлением, которое обеспечивает высокую точность прогнозов, улучшает управление жизненным циклом конструкций и повышает их надежность и долговечность. Разработанные модели продемонстрировали свою эффективность, допуская MAE не более 0,84 %, что свидетельствует о возможности их применения для решения практических задач в строительной отрасли.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование

ансамблевых методов (например, комбинация MLP с деревьями решений) и учет временных факторов (прогнозирование долговечности).

### **Библиографический список**

1. Сулейманова, Л. А. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников, А. Н. Кривчиков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 12-24.

2. Камаева, Ю. В. Применение искусственного интеллекта в строительстве: обзор отечественного опыта / Ю. В. Камаева, Т. В. Жданова, Е. А. Гинзбург // Строительство и архитектура. – 2024. – Т. 12, № 2(43).

3. Мищенко, А. С. Использование технологии нейронных сетей в строительной деятельности / А. С. Мищенко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Д. Экономические и юридические науки. – 2024. – № 2(67). – С. 21-25.

4. Сулейманова, Л. А. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства нейросетевым прогнозированием теплотеря здания / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди, И. С. Рябчевский. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – 164 с.

5. Амелин, П. А. Применение искусственного интеллекта на этапе проектирования зданий и сооружений / П. А. Амелин // Строительство. Архитектура. Дизайн: Материалы Четвертой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Курск, 21 апреля 2023 года / Под редакцией С.И. Меркулова. – Курск: Курский государственный университет, 2023. – С. 11-17.

6. Ломовцева, Н. А. Использование модуля нейронных сетей в системе STATISTICA для решения задачи классификации / Н. А. Ломовцева, Ю. Е. Кувайскова // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2021. № 4(96). С. 59-61.

7. Нейросетевое прогнозирование физико-механических характеристик композитных материалов используемых для усиления строительных конструкций / В. И. Римшин, А. К. Соловьев, Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 101-107.

8. Римшин, В. И. Нейросетевое прогнозирование несущей способности железобетонных элементов на различных стадиях жизненного цикла / В. И. Римшин, П. А. Амелин, Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 11. – С. 42-55.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

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

**Рябчевский И.С., ст. преп.,**

**Левшин А.М., студент**

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

**Овчинников Е.В., д-р техн. наук, доц.**

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
г. Гродно, Беларусь*

Одной из главных задач компьютерного зрения для повышения эффективности строительных процессов является интерпретация огромных массивов визуальной информации: изображений с камер наблюдения, данных 3D-сканирования, аэрофотосъемки дронов. Именно здесь на первый план выходят алгоритмы сверточных нейронных сетей (CNN, Convolutional Neural Networks). Эти модели, имитирующие работу зрительной коры человека, способны выделять паттерны, распознавать объекты и даже прогнозировать риски, обучаясь на тысячах примеров. Однако за кажущейся простотой применения скрывается сложный механизм обработки данных. Принцип работы CNN, их архитектура и методы обучения требуют глубокого понимания как возможностей, так ограничений технологии.

Сверточные нейронные сети – это тип модели глубокого обучения, используемой для распознавания, обработки и классификации изображений. С помощью базовой архитектуры CNN можно автоматически и эффективно извлекать признаки из входных данных. Работа базовой архитектуры CNN основана на следующем алгоритме: сначала она определяет отдельные фрагменты (что сравнимо с определением таких характеристик, как края или формы на изображении), а затем объединяет их, чтобы получить полную картину (что аналогично классификации или выводу). Выходной слой обеспечивает окончательное прогнозирование с помощью функции Softmax для задач классификации.

Среди всех операций CNN свертка является основной операцией в базовой архитектуре CNN, которая позволяет модели извлекать значимые признаки из входных данных. Она применяет фильтры к входным данным, выявляя такие закономерности, как края, текстуры и формы на изображении. Освоение базовой архитектуры CNN имеет решающее значение для разработки моделей, которые хорошо справляются с задачами распознавания и классификации изображений.

CNN имеет сетчатый шаблон, предназначенный для автоматического и адаптивного изучения пространственных иерархий объектов, от низкоуровневых до высокоуровневых шаблонов. CNN – это математическая конструкция, которая обычно состоит из трех типов слоев (или строительных блоков): свертка, объединение и полностью связанные слои. Первые два слоя, сверточный и объединяющий, выполняют извлечение признаков, а третий, полносвязный слой, преобразует извлеченные признаки в конечный результат, например, в классификацию. Сверточное слое играет ключевую роль в CNN, которая состоит из набора математических операций. В цифровых изображениях значения пикселей хранятся в двумерной (2D) сетке, то есть в массиве чисел (рис. 1), а небольшая сетка параметров, называемая ядром, оптимизируемым средством извлечения признаков, применяется в каждой точке изображения, что делает сверточные нейронные сети очень эффективными для обработки изображений, поскольку признак может находиться в любой точке изображения [1].

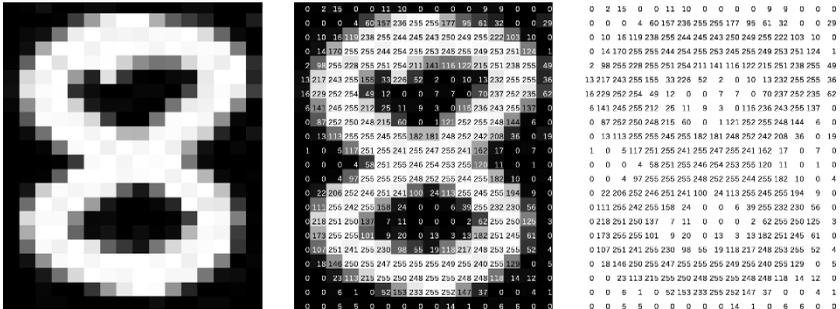


Рис. 1. Дискретизация изображения: преобразование в 2D массив пикселей

По мере того, как один слой передает свои выходные данные на следующий слой, извлеченные признаки могут иерархически и постепенно усложняться. Процесс оптимизации параметров называется обучением и выполняется с целью минимизации разницы между выходными данными и эталонными метками с помощью алгоритма оптимизации, называемого обратным распространением ошибки и градиентным спуском.

Типичная архитектура состоит из повторяющихся слоев свертки и объединения, за которыми следуют один или несколько полносвязных слоев. Этап, на котором входные данные преобразуются в выходные с помощью этих слоев, называется прямым распространением (рис. 2). Хотя операции свертки и объединения, предназначены для 2D-CNN, аналогичные операции можно выполнять и для трехмерных 3D-CNN.

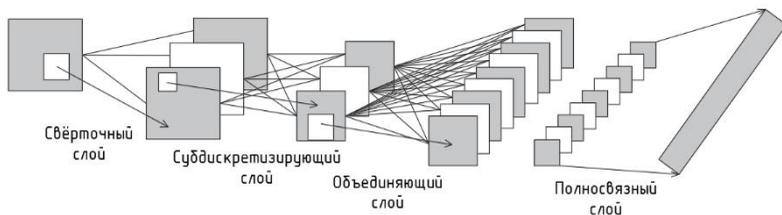


Рис. 2. Архитектура CNN: взаимодействие сверточных, пулинговых и полносвязных слоев

Свертка – это специализированный тип линейной операции, используемый для извлечения признаков, при котором небольшой массив чисел, называемый ядром, применяется к входным данным, которые представляют собой массив чисел, называемый тензором. В каждой точке тензора вычисляется поэлементное произведение каждого элемента ядра и входного тензора, которое суммируется для получения выходного значения в соответствующей точке выходного тензора, называемого картой признаков. Эта процедура повторяется с использованием нескольких ядер для формирования произвольного количества карт признаков, которые представляют различные характеристики входных тензоров. Таким образом, разные ядра можно рассматривать как разные средства извлечения признаков. Два ключевых гиперпараметра, определяющих операцию свертки, – это размер и количество ядер. Первый обычно равен  $3 \times 3$ , но иногда  $5 \times 5$  или  $7 \times 7$ . Второй является произвольным и определяет глубину выходных карт признаков. Ключевой особенностью операции свертки является совместное использование весовых коэффициентов: ядра используются во всех позициях изображения. Совместное использование весовых коэффициентов обеспечивает следующие характеристики операций свертки: позволяет локальным признакам, извлеченным с помощью ядер, оставаться инвариантными при перемещении ядер по всем позициям изображения и выявлять изученные локальные признаки; позволяет изучать пространственные иерархии признаков путем понижающей дискретизации в сочетании с операцией объединения, что приводит к захвату все более широкого поля зрения; повышает эффективность модели за счет уменьшения количества параметров для обучения по сравнению с полносвязными нейронными сетями.

Выходные данные линейной операции затем передаются через нелинейную функцию активации. Хотя гладкие нелинейные функции, такие как сигмовидная или гиперболическая касательная функция ( $\tanh$ ), использовались ранее, поскольку они являются математическими представлениями поведения биологического нейрона, наиболее распространенной нелинейной функцией активации, используемой в

настоящее время, является выпрямленная линейная единица (ReLU), которая просто вычисляет функцию:  $f(x) = \max(0, x)$  [2-4].

Слой объединения обеспечивает типичную операцию понижающей дискретизации, которая уменьшает размерность карт признаков в плоскости, чтобы обеспечить инвариантность к небольшим смещениям и искажениям и уменьшить количество последующих параметров, которые необходимо изучать. Следует отметить, что ни в одном из слоев объединения нет параметров, которые необходимо изучать, в то время как размер фильтра, шаг и заполнение являются гиперпараметрами в операциях объединения, как и в операциях свертки. Наиболее распространенной формой операции объединения является максимальное объединение, при котором из входных карт признаков извлекаются фрагменты, выводится максимальное значение в каждом фрагменте, а все остальные значения отбрасываются. На практике обычно используется максимальное объединение с фильтром размером  $2 \times 2$  и шагом 2. Это позволяет уменьшить размерность карт признаков в плоскости в 2 раза. В отличие от высоты и ширины, размерность карт признаков по глубине остается неизменной. Еще одна операция объединения, на которую стоит обратить внимание, – это глобальное среднее объединение. Глобальное среднее объединение выполняет экстремальный тип понижающей дискретизации, при котором карта признаков размером по высоте  $\times$  ширине преобразуется в массив  $1 \times 1$  путем простого вычисления среднего значения всех элементов в каждой карте признаков, при этом глубина карт признаков сохраняется. Эта операция обычно применяется только один раз перед полносвязными слоями. Преимущества применения глобального усреднения заключаются в следующем: уменьшается количество параметров, которые нужно изучать, и позволяет CNN принимать входные данные разного размера [5-8].

Выходные карты признаков последнего слоя свертки или объединения обычно выравниваются, то есть преобразуются в одномерный (1D) массив чисел (или вектор) и подключаются к одному или нескольким полносвязным слоям, также известным как плотные слои, в которых каждый вход соединен с каждым выходом с помощью обучаемых весовых коэффициентов. После создания признаков, извлеченных с помощью слоев свертки и уменьшенных с помощью слоев объединения, они сопоставляются с помощью подмножества полносвязных слоев с конечными выходами сети, такими как вероятности для каждого класса в задачах классификации. Последний полносвязный слой обычно имеет столько же выходных узлов, сколько классов. За каждым полносвязным слоем следует нелинейная функция, например, ReLU, как описано выше.

Функция активации, применяемая к последнему полносвязному

слою, обычно отличается от остальных. Соответствующую функцию активации необходимо выбирать в зависимости от задачи. Функция активации, применяемая к задаче многоклассовой классификации, – это функция softmax, которая нормализует выходные реальные значения последнего полносвязного слоя до вероятностей целевых классов.

CNN стали ключевым инструментом автоматизации в строительстве благодаря способности обрабатывать визуальные данные с высокой точностью.

Однако внедрение CNN сталкивается с рядом ограничений. Качество работы моделей напрямую зависит от репрезентативности и размера обучающих датасетов, которые для строительных задач часто фрагментарны или недостаточно аннотированы. Кроме того, обработка видео в реальном времени требует значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает использование стандартного оборудования. Тем не менее, развитие lightweight-архитектур (например, Tiny-YOLO) и edge-вычислений постепенно решает эти проблемы, делая CNN доступным инструментом для трансформации строительной отрасли.

#### **Библиографический список**

1. Rikiya Y., Mizuho N., Richard K. G. D., Kaori T. Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. // *Insights into Imaging* – 2018. – Vol. 9. – P. 611–615;
2. Nair V, Hinton GE Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines. // *Proceedings of the 27th International Conference on Machine* – 2018;
3. Ramachandran P, Zoph B, Le QV Searching for activation functions. // *arXiv* – 2018;
4. Glorot X, Bordes A, Bengio Y Deep sparse rectifier neural networks. // *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics* – 2011 – Vol. 15, – P. 315–323.
5. Сулейманова, Л. А. Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // *Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. Том 1.* – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 240-245.
6. Сулейманова, Л. А. Управление данными BIM-моделей при оценке устойчивости жизненного цикла зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // *Университетская наука.* – 2023. – № 1(15). – С. 117-119.
7. Сулейманова, Л. А. Цифровое обследование зданий и сооружений, поврежденных в результате чрезвычайных ситуаций / Л. А. Сулейманова, А. А. Крючков, С. М. Есипов, П. А. Амелин // *65 лет*

ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации: Сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции. Том Часть 2. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022. – С. 201-203.

8. Сулейманова, Л. А. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников, А. Н. Кривчиков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 12-24.

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Фетисов А.С., аспирант,  
Абсиметов В.Э., д-р техн. наук, проф.,  
Салтанова Е.В., ст. преп.**

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

Технологии инъекции в последние десятилетия активно применяются при устройстве и восстановлении гидроизоляции подземных сооружений как в России, так и за рубежом. В условиях эксплуатации восстановление гидроизоляции становится более трудоемким и затратным процессом, чем на этапе строительства. Современные строительные объекты в мегаполисах, которые возводятся с максимальным использованием подземного пространства, подвержены постепенному разрушению под воздействием влаги, что делает восстановление гидроизоляции критически важным аспектом их эксплуатации [1, 4].

Также немаловажной проблемой может стать износ гидротехнических сооружений, которые эксплуатируются без ремонта уже более 50 лет. В общей сложности за последние 5 лет рост общего числа гидроизоляционных ремонтных работ достиг 50% [2, 3].

С учетом всего вышесказанного, на первый план выходит эффективность управления. Традиционные методы диагностики и ремонта зачастую основаны на субъективных оценках, что приводит к неоптимальным решениям, перерасходу материалов и преждевременным повторным ремонтам. В этой связи применение искусственного интеллекта (ИИ) для оптимизации управленческих решений при восстановлении гидроизоляции открывает новые возможности для повышения эффективности, снижения затрат и увеличения срока службы

конструкций. Ведь на принятии по-настоящему эффективных решений человеком могут негативно сказаться такие факторы, как: большой объем данных, необходимость координации участниками процессов, риски и т.д. [5].

Искусственный интеллект активно применяется в строительстве в таких государствах, как Китай, ОАЭ, Сингапур, и уже успел себя зарекомендовать, как рабочий инструмент для экономии времени, денег и других ресурсов. Например, китайская компания XKool уже сегодня разрабатывает планировку жилого комплекса при помощи алгоритма за 2 дня, сокращая время проектирования в 10 раз.

В сфере управления жизненным циклом объектов строительства можно выделить 5 основных методов:

- машинное обучение для прогнозирования сроков и затрат;
- компьютерное зрение для мониторинга и контроля качества;
- обработка естественного языка (NLP) для анализа документации и контрактов;
- оптимизация с помощью ИИ распределения ресурсов и логистики;
- цифровые двойники (симуляция управления объектом) (Рис. 1).

Применительно к инъекционной гидроизоляции можно использовать, например, цифровые двойники гидроизоляционных систем для тестирования сценариев ремонта, которые анализируют данные с датчиков влажности (до 1000 точек на квадратный метр). Также возможно создание нейросети для классификации повреждений и другие применения.



Рис. 1. Пример цифрового двойника строительного объекта

Рассмотрим подробнее аргументы в пользу его внедрения:

*1. Экономическая значимость*

– ошибки в выборе стратегии восстановления гидроизоляции ведут к многомиллионным убыткам из-за аварийных ремонтов и простоев объектов;

– ИИ позволяет минимизировать затраты за счет точного прогнозирования объемов работ и оптимального распределения ресурсов.

#### *2. Технологические вызовы*

– существующие методы диагностики (визуальный осмотр, точечные замеры) не обеспечивают полной картины состояния гидроизоляции;

– компьютерное зрение и машинное обучение способны автоматизировать выявление дефектов с точностью до 95%, при этом значительно сокращая время обследования.

#### *3. Управленческая эффективность*

– руководители проектов сталкиваются с дефицитом данных для обоснования решений. ИИ анализирует исторические данные и предлагает варианты с прогнозируемыми outcomes;

– цифровые двойники позволяют тестировать сценарии ремонта до их реализации, снижая риски.

#### *4. Нормативные требования*

– ужесточение стандартов по энергоэффективности и экологичности (например, BREEAM, LEED) требует инновационных подходов к обслуживанию зданий.

Несмотря на значительные перспективы, применение искусственного интеллекта в сфере восстановления гидроизоляции, нельзя не упомянуть и о недостатках:

– дороговизна ПО, оборудования и обучения персонала;

– дефицит качественных данных для обучения моделей (часто они не систематизированы, недостаточно репрезентативны и содержат ошибки или субъективные оценки);

– сопротивление персонала новым технологиям, и неготовность компаний к цифровизации;

– отсутствие стандартов, определяющих допустимую степень автономности ИИ при принятии решений и его ответственность за ошибки.

Для минимизации влияния вышеперечисленных минусов можно предпринять следующие шаги:

– поэтапное внедрение на небольших объектах;

– гибридные решения внедрения;

– государственная поддержка (субсидии, разработка стандартов).

Проведенное исследование демонстрирует значительный

потенциал применения искусственного интеллекта для оптимизации управленческих решений при восстановлении гидроизоляции строительных объектов. Внедрение ИИ-технологий позволяет перейти от реактивного к предиктивному и даже профилактическому подходу в управлении гидроизоляционными работами, что принципиально меняет традиционные практики в строительной отрасли [5].

Перспективными направлениями дальнейших исследований могут стать:

- разработка специализированных цифровых двойников для различных типов гидроизоляционных систем;
- создание адаптивных алгоритмов, учитывающих региональные особенности эксплуатации;
- интеграция ИИ-решений с BIM-платформами для сквозного управления жизненным циклом гидроизоляции.

Несмотря на существующие проблемы (необходимость качественных данных для обучения моделей, высокие первоначальные затраты, сопротивление изменениям в отрасли), экономический эффект от внедрения ИИ в процессы восстановления гидроизоляции доказан практическими примерами. Дальнейшая цифровизация строительной отрасли неизбежно приведет к массовому внедрению рассмотренных технологий, что открывает новые возможности для повышения качества, надежности и экономической эффективности строительных объектов.

### **Библиографический список**

1. Фетисов А.С. Влияние инъекционной гидроизоляции на жизненный цикл зданий / В.О. Демин, В.Э Абсиметов // Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии и инновации» (XXV научные чтения), посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. – 2023. – С. 230-232.

2. Старцева С.С. Инъектирование, как эффективный способ гидроизоляции бетонных и кирпичных сооружений / С.С. Старцева, Н.С. Волжанина, Е.В. Чернова. – Текст: электронный // Молодежь и наука: материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (26 мая 2023 г., г. Нижний Тагил). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2023. – С. 155-157.

3. Сокова С.Д. Повышение надежности подземной гидроизоляции при эксплуатации зданий / С.Д. Сокова, В.М. Калинин // Жилищное строительство. – 2015. – С. 63-67.

4. Фетисов А.С. Проблемы диагностики и локализации дефектов при инъекционной гидроизоляции // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова –

2024. – С. 198-200.

5. Сулейманова, Л. А., Рябчевский И. С. Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий // Университетская наука. – 2023. – № 1(15). – С. 117-119.

## **К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРИРУЕМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ**

**Шарапов О.Н., ст. преп.,**

**Марушко М.В., ст. преп.,**

**Зюбанов А.В., студент**

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

Современный этап развития градостроительства характеризуется активным внедрением интегрируемых интеллектуальных систем зданий (ИИСЗ), что обусловлено особенностями городского образа жизни. Поскольку горожане около 90% времени проводят в помещениях различного назначения, качество этих пространств становится критически важным фактором комфорта и безопасности. Известно, что люди проводят 40 % времени в рабочих и учебных помещениях (офисы, цеха, аудитории), а 60 % – в жилье, спортзалах и культурных объектах. Современная архитектура активно развивает многофункциональные комплексы, объединяющие офисы, квартиры, магазины, учебные и медицинские центры с едиными инженерными системами. Такие проекты создают комфортную среду, где все зоны связаны общей инфраструктурой. Увеличение этажности современных зданий существенно усложняет их инженерную инфраструктуру, делая особенно актуальными вопросы мониторинга состояния строительных конструкций и разработки превентивных мер по обеспечению безопасности. В этих условиях ключевое значение приобретает создание комфортной и безопасной среды для различных видов деятельности: в рабочих помещениях необходимо обеспечить условия для продуктивного труда, в образовательных учреждениях - оптимальный микроклимат для учебного процесса, в жилых зонах - атмосферу отдыха и защищенности. Наиболее перспективным решением этих задач выступает внедрение ИИСЗ, которые обеспечивают комплексный мониторинг всех аспектов функционирования здания, включая состояние конструктивных элементов и инженерных систем, при этом дополнительным преимуществом таких систем является значительное повышение энергоэффективности зданий.

Системы охраны зданий существуют веками, но раньше были дорогими и малодоступными. Современные IT-технологии и

микроэлектроника сделали их дешевле и доступнее, автоматизировав основные функции управления. Это позволило массово внедрять такие решения в строительство и эксплуатацию зданий. Наглядным примером такой тенденции стали системы видеонаблюдения, превратившиеся из эксклюзивного атрибута коммерческих объектов в стандартный элемент оснащения не только офисных и производственных зданий, но и многих жилых комплексов, включая мониторинг прилегающих территорий. Ожидается, что продолжающееся совершенствование информационных технологий и снижение стоимости оборудования сделают подобные системы повсеместными, а их функционал будет расширен за счет внедрения интеллектуальных алгоритмов распознавания изображений, включая детектирование и анализ движущихся объектов.

Несмотря на значительные затраты на внедрение и обслуживание, рынок интеллектуальных систем зданий демонстрирует устойчивый рост, охватывая решения различных масштабов и конфигураций. Особенно показательным примером является повсеместное распространение систем видеонаблюдения как ключевого компонента ИИСЗ в крупных российских городах [1-5]. Примечательно, что параллельно с расширением применения наблюдается последовательное снижение стоимости как первоначального развертывания, так и эксплуатации таких систем, что создает предпосылки для их массового внедрения в жилом, коммерческом и промышленном секторах в течение следующего десятилетия. Как свидетельствуют статистические данные, наглядно представленные на рис. 1 [6, 7]. Количество внедряемых ИИСЗ имеет устойчивую положительную динамику. Растут требования к безопасности и комфорту - как в офисах, так и в жилых домах.)



Рис. 1. Затраты и потребности в интегрируемых интеллектуальных системах зданий, (млн долларов США)

Современные интеллектуальные системы зданий (ИИСЗ) пока не имеют единых стандартов и представляют собой разобщенные подсистемы (водо-, газоснабжение и др.), что снижает их эффективность. Главная задача ИИСЗ – обеспечение комфорта и безопасности пользователей (ЛС) – требует учета множества факторов: природных, техногенных, технических и социальных [5]. Для этого необходим системный подход с единой концепцией, стандартизированными технологиями и унифицированной программной средой [4]. Только так можно создать по-настоящему интеллектуальные здания, отвечающие всем современным требованиям.

«Интеллектуальные здания» - распространенное в научных кругах понятие, описывающее сооружения с полной автоматизацией на базе цифровых технологий. По сути, такая система должна уметь «думать» - адаптироваться к разным условиям работы. Однако современные автоматизированные системы зданий пока не полностью соответствуют этому определению, так как их возможности адаптивного управления остаются ограниченными. Тем не менее, использование данного термина отражает стратегическую цель развития - создание интегрированных систем управления, приближающихся по своим возможностям к искусственному интеллекту. Такие системы будущего должны самостоятельно анализировать ситуацию в здании, выявлять проблемы и находить оптимальные решения с учетом доступных ресурсов. Именно эта перспектива оправдывает применение термина «интеллектуальное» к современным автоматизированным зданиям, несмотря на существующие технологические ограничения. Для достижения полноценной интеллектуальности требуется комплексная автоматизация всех взаимосвязанных процессов в здании, включая взаимодействие между инженерными системами, объектами инфраструктуры и пользователями. Реализация этой задачи возможна только через системный подход к проектированию и управлению как жилыми, так и коммерческими зданиями, что предполагает создание единой платформы для координации всех аспектов функционирования здания.

Анализ показывает, что ранние системы управления «умными» зданиями работали разрозненно, контролируя лишь отдельные подсистемы. Исследования тогда фокусировались только на технической стороне, упуская социально-техническую суть таких объектов.

Современный этап развития характеризуется появлением в ведущих странах инновационных проектов нового поколения, где единая автоматизированная система осуществляет комплексное управление всеми коммуникациями и инженерными сетями здания. Современные интеллектуальные здания сочетают мониторинг конструкций, системы безопасности и автоматическое оповещение, реализуя целостный подход вместо разрозненных технических решений.

Современные интеллектуальные здания объединяют мониторинг конструкций, безопасность, информирование пользователей и аварийное оповещение, что отражает эволюцию от отдельных решений к комплексным социотехническим системам. По сути, это автоматизированные сооружения нового поколения, обеспечивающие безопасность, комфорт и энергоэффективность за счет автоматического реагирования на изменения, взаимодействия подсистем, синергетического эффекта от интеграции. Более того, интеграция нескольких автоматизированных систем позволяет достичь качественно нового уровня управления всем зданием как единым организмом, где изменение параметров одной системы вызывает согласованную реакцию других, что значительно повышает общую эффективность функционирования объекта.

Исторический анализ показывает, что первые системы управления зданиями появились в период с середины 1970-х до начала 1980-х гг., находя применение преимущественно в крупных сооружениях. Эти пионерские решения первого поколения характеризовались архитектурой с центральным мини-компьютером и простейшими периферийными устройствами без элементов интеллектуальности. Функциональные возможности таких систем ограничивались базовым мониторингом параметров здания и примитивным управлением по принципу «стоп/старт», при этом даже программное обеспечение, которым оснащались некоторые из этих систем, отличалось низкой надежностью и нестабильностью работы. Данный технологический этап, несмотря на свою ограниченность, заложил основы для последующего развития интеллектуальных систем управления зданиями, продемонстрировав принципиальную возможность автоматизации управления инженерной инфраструктурой.

Технологический прорыв в управлении зданиями произошел в 1985-1990 гг., когда австралийский строительный бум высоток стал катализатором для внедрения первых «умных» зданий.

Отрасль совершила технологический скачок с созданием распределенных цифровых контроллеров и первых интеллектуальных систем безопасности, а в 1986 г. прорывной стала разработка «умных» климатических контроллеров для зданий. В 1990-е гг. системы управления зданиями существенно модернизировались: ПК полностью заменили мини-компьютеры, а цифровые контроллеры обрели улучшенную память и современные интерфейсы связи. Именно эти технологические решения, разработанные в тот период, легли в основу современных систем автоматизации зданий и продолжают оставаться их ключевыми элементами по сей день, демонстрируя удивительную жизнеспособность первоначальных архитектурных решений.

Современный рынок систем управления интеллектуальными

зданиями демонстрирует четкое географическое распределение: на долю Японии и других азиатских стран приходится свыше 20 % объема, Северная Америка занимает около 25 %, тогда как европейские государства лидируют с показателем более 40 %.

Согласно данным Navigant Research Blog, годовой оборот рынка автоматизации зданий уже превышает 75 млрд долларов [8], причем устойчивый рост наблюдается не только в развивающихся экономиках, но и в традиционно зрелых рынках Северной Америки и Западной Европы. Особую значимость приобретают системы управления ОВК и освещением, которые стали ключевым инструментом повышения энергоэффективности. Снижение энергопотребления и выбросов требует современных систем мониторинга – ключевого тренда в энергоэффективном строительстве. ЕС задает высокую планку, поставив цель нулевого энергобаланса к 2021 г. При этом большинство инвестиций в «умные» здания поступает из частных источников, так как энергосбережение стало главным козырем на рынке строительных технологий.

Совершенствование «умных» технологий для зданий, в первую очередь энергоэффективных решений, ведет к повышенному интересу на рынке автоматизированных систем контроля. Согласно исследованиям Pike Research, к 2021 г. объем этого рынка достигнет 146 млрд долларов, что почти вдвое превышает текущие показатели. Основным драйвером роста выступает строительство в Китае, где ежегодно вводится около 2 млрд м<sup>2</sup> новых площадей. Большинство этих объектов будут оснащены сложными интегрированными системами управления, рассчитанными на продолжительную эксплуатацию. Особенно быстро будут развиваться решения, связанные с повышением энергоэффективности. Современная тенденция к снижению стоимости и упрощению эксплуатации таких систем позволяет прогнозировать их повсеместное внедрение во всех энергозначимых элементах новых поколений интеллектуальных зданий.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова, Л. А. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства нейросетевым прогнозированием теплопотерь здания / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди, И. С. Рябчевский. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. 164 с.

2. Сулейманова Л. А., Обайди А. А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 3. С. 38-46.

3. Марушко М.В., Рябчевский И.С. Цифровизация на стадии технической эксплуатации многоквартирных жилых домов // Сборник

докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова «Наука и инновации в строительстве». Белгород, 2024. С. 276-280.

4. Burmahl. Smart and smarter-intelligent buildings graduate to new level, *Health Facilities Management*, (1990 (June)) pp. 22 – 30.

5. E.C. Leo. Costs of intelligent buildings, in D. Boyd (Ed.), *University of Central England, Henley on Thames, Intelligent Buildings*, Alfred Waller in association with Unicom, London, 1994, pp. 61 – 72.

6. Ashworth. Estimating the life expectancies of building components in life-cycle costing calculations, *Structural Survey* 14 (2) (1996), pp. 4 – 8.

7. Aye, N. Bamford, B. Charters, J. Robinson. Environmentally sustainable development: a life cycle costing approach for a commercial office building in Melbourne, Australia, *Construction Management and Economics* 18, 2000, pp. 927 – 934.

8. Коробейников О.П. Мониторинг технического состояния зданий, сооружений и инженерных систем / О.П. Коробейников, А.И. Панин, Э.И. Гусев, И.В. Трубина. Нижний Новгород, 2011. 42 С.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДОВЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ЗДАНИЙ**

**Шарапов О.Н., ст. преп.,  
Марушко М.В., ст. преп.,  
Зюбанов А.В., студент**

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

Анализ научных публикаций по теме «умных зданий» выявил три ключевых направления исследований: разработка инновационных технологий, методы оценки эффективности и анализ инвестиционной привлекательности. На рис. 1 представлена структура этих научных направлений и их взаимосвязи.

Научные исследования в этой области преимущественно сосредоточены на технологиях «умного» строительства. Основные направления включают интеграцию систем, сетевые технологии, а также разработку подсистем: климат-контроля, освещения, пожарной безопасности, лифтового хозяйства, охраны и коммуникаций.

«Умные» здания принципиально отличаются от традиционной своей организации и технологической структурой. Их ключевая особенность - иерархическая система интеграции [1-4]. Как отмечают Брэдшоу и Миллер [5], такая интеграция создает качественную среду, сочетающую

функциональность, безопасность, комфорт и контроль микроклимата. Согласно исследованиям Карлини [6], Аркина и Пасиука [7], архитектура "умных" зданий организована по трехуровневой системе. Верхний уровень отвечает за управление штатными и аварийными режимами работы, а также коммуникациями. Средний уровень включает автоматизированные системы (САЗ, СУЭ, СУС), которые координируют работу всех подсистем, причем САЗ управляет как общездательными функциями, так и группами однотипных систем, например, энергоснабжением. Нижний уровень объединяет инженерные подсистемы: климат-контроль, освещение, пожарную безопасность, лифты, охрану и связь.

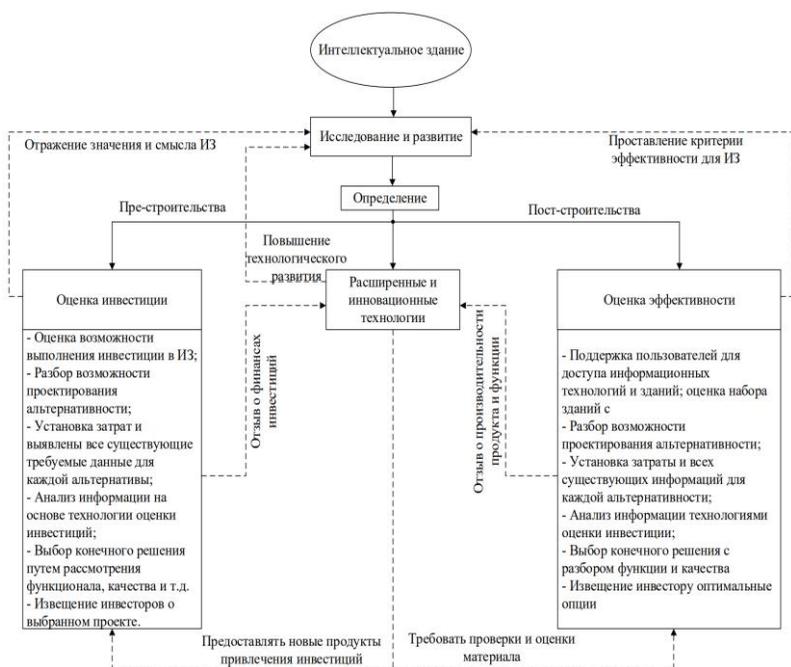


Рис. 1. Таксономия исследования управления интеллектуальным зданием

«Умные» здания обеспечивают слаженное взаимодействие всех подсистем во время строительных работ. Системная интеграция здесь означает объединение оборудования и программ в единую архитектуру, сохраняя при этом автономность отдельных систем и обеспечивая обмен данными. Как отмечают Аркин и Пасиук [7], ключ к эффективной эксплуатации сложных зданий – интеграция между подсистемами, системами управления и самой конструкцией здания. Конкретные

примеры такого взаимодействия описаны в работах.

«Умные» здания реализуют комплексную интеграцию систем безопасности. Пожарная сигнализация взаимодействует с ОВК, освещением и электроснабжением через САЗ: система вентиляции блокирует распространение дыма, перекрывая воздухопроводы и отключая подачу энергии в зоне возгорания. Лифтовое оборудование координируется с пожарной сигнализацией для определения количества доступных кабин в аварийном режиме и контроля доступа на этажи. При пожаре система автоматически разблокирует защищенные двери, согласовывая действия охранной и пожарной систем. Освещение и вентиляция синхронизируются для точечного управления отдельными помещениями. Все подсистемы объединены через централизованный диспетчерский пункт с САЗ.

Современные исследования в области интеллектуальных строительных технологий, как отмечает Иванович [8], сосредоточены на разработке программных решений для мониторинга состояния зданий. Ученые активно применяют нейросетевые алгоритмы, нечеткую логику и ИИ-технологии для автоматического выявления неисправностей. Эти системы охватывают не только инженерные коммуникации, но и коммерческие сервисы, системы оповещения и управления оборудованием, где ручной контроль затруднен.

Значительный вклад в эту область внес международный проект IEA BSC, объединивший усилия более 10 университетов и научных центров. Их работы позволили создать новые методы диагностики неисправности в системах ОВК. Особое внимание исследователи уделяют интеллектуальным системам управления, способным повышать энергоэффективность зданий. Перспективным направлением считаются беспроводные технологии и сетевые решения в строительстве.

Научные работы в области «умных» зданий охватывают не только технологии, но и методы оценки их эффективности. Серафеимидис рассматривает оценку как инструмент обучения систем управления, тогда как другие исследователи видят в ней лишь способ фиксации текущего состояния объекта. Особое значение имеет динамическая оценка эффективности, которая через обратную связь со всеми подсистемами позволяет совершенствовать управление зданием [8].

Разработаны различные модели анализа производительности [7, 8], включая концепцию «интегративной производительности» Преисера и Шрамма, охватывающую все этапы - от проектирования до утилизации. Отдельное направление – оценка «интеллектуальности» зданий, где notable вклад внесла ПОЗОМ-модель Преисера, реализуемая в три этапа. Модель ПОЗОМ реализуется в три этапа: сбор концептуальных данных, полевые испытания инструментов оценки интеллектуальности здания, анализ результатов с выработкой рекомендаций по совершенствованию

систем мониторинга. Применяя эту модель в кросс-культурных исследованиях, Преисер и Шрамм доказали ее эффективность для долгосрочного повышения качества оценки производительности "умных" зданий, позволяя отслеживать влияние новых технологий на функционирование сооружений.

Разработка методов оценки остается ключевым направлением исследований, так как без них невозможно объективно определить уровень интеллектуальности зданий. Среди значимых методик выделяются метод DEGW (1995), объединяющий пять категорий факторов для комплексной оценки «IQ здания» и его качества; подход Аркина и Пациука [7] с показателем «степени системной интеграции», отражающим уровень взаимодействия между подсистемами и конструкциями здания.

Данная методика позволяет сравнивать различные подходы к интеллектуализации зданий и создавать единую систему оценки уровня системной интеграции. Дальнейшее развитие получила в 2012 г., когда Азиатский институт интеллектуальных зданий [5] разработал количественную систему оценки, учитывающую девять ключевых параметров: от технических модулей до экологических аспектов. Каждый параметр оценивается по 100-балльной шкале, а итоговый рейтинг здания (от А до Е) отражает его общий уровень интеллектуальности.

Существующие методики оценки эффективности «умных» зданий имеют ряд существенных недостатков, отмеченных Вонгом [9]. Основные проблемы включают: расхождение между расчетными и экспертными оценками, субъективность весовых коэффициентов для разных проектов, недостаточный учет ключевых элементов при одновременном игнорировании второстепенных. Главные методологические ограничения – отсутствие механизмов самообучения системы по мере накопления данных и примитивность бинарного подхода к оценке, который не отражает реальный уровень интеллектуальности зданий.

Современные исследования в области интеллектуальных зданий демонстрируют эволюцию подходов к оценке их эффективности, что стало ответом на критику существующих методик. Основные проблемы предыдущих моделей включали субъективность оценок, несбалансированный учет элементов и отсутствие механизмов адаптации. В ответ на это исследователи, такие как Вонг, предложили новые принципы построения объективных моделей, включающие сбалансированный анализ всех компонентов системы, минимизацию субъективных суждений, применение теории полезности для комплексного измерения параметров, а также внедрение динамических механизмов самообучения. Особое внимание уделяется разработке количественных методов оценки (например, система Азиатского

института Интеллектуальных Зданий), позволяющих ранжировать здания по уровню интеллектуальности на основе объективных критериев. Однако, несмотря на прогресс, сохраняется необходимость дальнейших исследований для создания универсальных и адаптивных моделей оценки, способных адекватно отражать сложность современных интегрированных систем «умных» зданий и их реальную эффективность в различных условиях эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. Сулейманова, Л. А. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства нейросетевым прогнозированием теплотерь здания / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди, И. С. Рябчевский. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. 164 с.

2. Сулейманова Л. А., Обайди А. А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 3. С. 38-46.

3. Марушко М.В., Рябчевский И.С. Цифровизация на стадии технической эксплуатации многоквартирных жилых домов // Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова «Наука и инновации в строительстве». Белгород, 2024. С. 276-280.

4. A.T.P. So, A.C.W. Wong, K.C. Wong, A new definition of intelligent buildings for Asia, The Intelligent Building Index Manual, 2nd edition, Asian Institute of Intelligent Buildings, Hong Kong, 2001 (October), pp. 1 – 20.

5. D.L. Loveday, G.S. Virk, J.Y.M. Cheung, D. Azzi. Intelligence in buildings: the potential of advanced modelling, Automation in Construction 6 (1997), pp. 447 – 461.

6. D.P. Robathan. The future of intelligent buildings, in: D. Boyd (Ed.), University of Central England, Henley on Thames, Intelligent Buildings, Alfred Waller in association with Unicom, London, 1994, pp. 259 – 265.

7. Arkin, M. Paciuk. Evaluating intelligent building according to level of service system integration, Automation in Construction 6, 1997, pp. 471 – 479.

8. Scherer HF, Pasamontes M, Guzmán JL, Álvarez JD, Camponogara E, Normey-Rico JE. Efficient building energy management using distributed model predictive control. J Process Control 24, 2014, pp. 740–749.

9. W.Y. Chung, L.C. Fu, S.S. Huang. A flexible, hierarchical and distributed control kernel architecture for rapid resource integration of intelligent building system, Paper presented to the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul Korea IEEE, Computer Society Press, Washington DC, 2001, pp. 1981 – 1987.

# **НАПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ И КОМФОРТ В ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ: РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Кликунов Н.Д., канд. экон. наук,  
Андреев Р.А., магистрант**

*Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия*

Современные жилые комплексы должны обеспечивать не только комфортное проживание, но и высокий уровень безопасности для своих жителей. Техническая эксплуатация играет ключевую роль в достижении этих целей, обеспечивая надежную работу всех систем и инфраструктуры. В данной статье будет рассмотрено, как техническая эксплуатация влияет на безопасность и комфорт в жилых комплексах, а также какие меры могут быть приняты для их улучшения.

Техническая эксплуатация включает в себя комплекс мероприятий, направленных на поддержание и улучшение состояния зданий и их инженерных систем. Это включает в себя регулярное обслуживание, диагностику, ремонт и модернизацию. Эффективная техническая эксплуатация позволяет предотвратить аварийные ситуации, продлить срок службы оборудования и создать комфортные условия для проживания.

Рассмотрим основные мероприятия по обеспечению безопасности в жилом доме.

Контроль за состоянием инженерных систем. Одной из ключевых задач в области технической эксплуатации является мониторинг функционирования инженерных систем, включая отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха, электроснабжение и водоснабжение. Периодические проверки и профилактическое обслуживание способствуют обнаружению и устранению возможных неполадок до того, как они перерастут в серьезные аварии [1].

Техническая эксплуатация включает в себя также контроль за системами противопожарной безопасности. Это включает в себя регулярные проверки пожарных сигнализаций, систем оповещения и автоматического пожаротушения. Обучение персонала и жильцов правилам поведения, в случае пожара, также является важной частью

обеспечения безопасности.

Обеспечение безопасности на территории жилого комплекса включает в себя установку видеонаблюдения, контроль доступа и освещение. Техническая эксплуатация этих систем позволяет своевременно реагировать на инциденты и предотвращать правонарушения.

На рис. 1 показана взаимосвязь различных систем, обеспечивающих безопасность зданий и сооружений. Взаимосвязанные системы безопасности зданий и сооружений представляют собой комплексный подход к обеспечению их надежности и защиты. Основой таких систем являются конструкции, которые обслуживаются посредством систем мониторинга, отвечающих за контроль состояния самих сооружений и их оборудования. Важным элементом является система пожарной сигнализации, которая обеспечивает оперативное реагирование на потенциальные угрозы.



Рис. 1. Системы обеспечения безопасности зданий и сооружений

К тому же, автоматизированные системы охраны, в том числе система экстренного оповещения, играют ключевую роль в управлении безопасностью на объектах. Для контроля доступа в помещения используются специальные системы, что позволяет ограничивать несанкционированный вход и защищать конфиденциальную информацию [2].

Все эти меры взаимосвязаны с инженерными системами, такими как системы электроснабжения и водоснабжения, которые должны функционировать без перебоев для поддержания общей безопасности объектов. Системы теплоснабжения и вентиляции не менее важны, так как они обеспечивают комфортные условия для людей, находящихся в здании, и предотвращают возникновение чрезвычайных ситуаций.

Для жильцов необходимо обеспечить не только безопасные, но и

комфортные условия проживания.

Комфорт жильцов во многом зависит от состояния систем отопления, вентиляции и кондиционирования. Техническая эксплуатация этих систем позволяет поддерживать оптимальные температурные режимы и уровень влажности, что способствует созданию комфортной атмосферы в помещениях.

Техническая эксплуатация также включает в себя уход за общими территориями, такими как дворы, парки и зоны отдыха. Регулярное благоустройство и поддержание чистоты создают приятную атмосферу для жильцов и способствуют их удовлетворенности.

Современные жилые комплексы должны быть энергоэффективными. Техническая эксплуатация включает в себя мониторинг потребления энергии и внедрение технологий, направленных на снижение затрат, что не только снижает расходы жильцов, но и способствует охране окружающей среды.

Внедрение систем «умного дома» позволяет жильцам управлять климатом, освещением и безопасностью через мобильные приложения. Это не только повышает уровень комфорта, но и улучшает безопасность, позволяя быстро реагировать на изменения [3]. Также система «умный дом» при эксплуатации позволяет существенно экономить: до 30-40% на плате за электроэнергию, до 40% за водоснабжение, до 50% – за отопление, до 30% на эксплуатационных расходах. Уровень сохранения тепла при использовании технологии рекуперации может составить – от 75 до 97% [4].

Регулярное обучение сотрудников управляющих компаний по вопросам безопасности и технической эксплуатации помогает повысить уровень обслуживания и обеспечить безопасность жильцов [5].

Создание каналов для обратной связи позволяет жильцам сообщать о проблемах и получать оперативную помощь. Это способствует улучшению качества обслуживания и повышению уровня доверия между жильцами и управляющей компанией.

Таким образом, техническая эксплуатация играет важную роль в обеспечении безопасности и комфорта в жилых комплексах. Эффективное управление инженерными системами, контроль за состоянием зданий и благоустройство территории способствуют созданию безопасной и комфортной среды для проживания. В условиях современных требований к качеству жизни, внедрение новых технологий и подходов в технической эксплуатации становится необходимым для достижения высоких стандартов безопасности и комфорта.

### **Библиографический список**

1. Коробейников О. П., Панин А.И., Гусев Э.И., Трубина И.В. Мониторинг технического состояния зданий, сооружений и инженерных систем // Н. Новгород: ННГАСУ, 2011. 40 с.

2. Деменев А.В., Павлов Н.Л. Интеграция системы мониторинга и управления инженерными системами зданий с массовым пребыванием людей // Sciences of Europe. 2016. Т.2. №6(6). С. 23-27.

3. Гужова О. А., Романов Д. В. Повышение качества технической эксплуатации объектов жилищно-коммунального комплекса путем автоматизации и диспетчеризации процессов //Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. 2019. С. 741-745.

4. Банникова А. С., Красноухов И. В. «Умный дом» в России: перспективы развития технологической системы //Молодой ученый. – 2016. №. 9. С. 479-482.

5. Турунов И. В. Актуальные вопросы развития сферы ЖКХ // Редакционная коллегия. 2024. С. 231-234.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА**

**Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.,  
Погорелова А.И., магистрант,  
Косухин А.М., ст. преп.**

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

Актуальность капитального ремонта многоквартирного жилищного фонда России обусловлена критическим уровнем физического износа инфраструктуры, достигшим к началу 2010-х гг. 60-70% для инженерных систем, что создало прямые угрозы безопасности и комфорту граждан. По данным Минстроя РФ, более 25% многоквартирных домов требуют неотложного вмешательства, а ежегодные аварии в коммунальных сетях провоцируют экономические потери, оцениваемые в сотни миллиардов рублей. Эти вызовы стали катализатором законодательных изменений 2012 года, интегрировавших в Жилищный кодекс РФ раздел IX, который заложил основы системного подхода к финансированию капремонта через региональных операторов и целевые фонды [1, 2].

Однако спустя более чем десятилетие реформа демонстрирует сохраняющиеся системные дисбалансы. Региональная асимметрия в темпах модернизации (от 70% отремонтированных домов в столичных регионах до 15% в депрессивных субъектах), хронический дефицит средств из-за инфляции строительных материалов (рост на 45% в 2020–2023 гг.) и низкая интеграция энергоэффективных технологий (менее 10% проектов) свидетельствуют о необходимости совершенствования механизмов. Актуальность задачи усиливается в контексте глобальных

климатических обязательств (снижение углеродного следа жилищного сектора) и социальных требований (старение населения, спрос на «умные» города) [1, 3].

Актуальность разработки комплексного механизма модернизации жилищной инфраструктуры России, особенно на уровне субъектов федерации, стала ключевым фактором законодательных изменений 2012 г. Реформирование было продиктовано потребностью системного подхода к организации капитального ремонта многоквартирных зданий, состояние которых к началу 2010-х гг. достигло критических показателей. В качестве правового ответа на этот вызов в Жилищный кодекс РФ был интегрирован специальный раздел IX «Организация проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах», что ознаменовало переход от декларативных норм к конкретным механизмам финансирования [4].

Институциональные преобразования потребовали синхронизации федерального и регионального законодательства. В течение 2013-2015 г. все 85 субъектов Федерации адаптировали свои нормативные базы, утвердив долгосрочные программы капремонта сроком до 2043 г. Параллельно создавались специализированные институты – региональные операторы, выполняющие функции аккумуляции средств и координации подрядных работ. Финансовая модель реформы базировалась на принципе софинансирования: владельцы жилья начали ежемесячно перечислять установленные взносы (от 7 до 15 руб./м<sup>2</sup> в зависимости от региона), которые аккумулировались на специальных счетах.

Динамика поступления средств демонстрирует постепенную интеграцию нового механизма в экономическую реальность. Согласно мониторингу ГИС ЖКХ, к апрелю 2019 г. общая сумма начислений достигла 52,5 млрд руб., из которых фактически поступило 48,25 млрд (91,88 %). Эти показатели отражают не только фискальную дисциплину граждан, но и рост доверия к системе – для сравнения, в 2015 г. уровень собираемости не превышал 78 %. Однако региональная дифференциация остается значительной: если в Москве и Татарстане исполнение составляет 98-99 %, то в ряде депрессивных районов Дальнего Востока едва достигает 65 % [4].

Особый интерес представляет анализ моделей формирования ремонтных фондов. Статистика за 2018-2019 гг. выявляет доминирование централизованной схемы:

- МКД используют счета региональных операторов – 87,9 %;
- специальные счета операторов с особым статусом – 4,5 %;
- счета ТСЖ и жилищных кооперативов – 4,3 %;
- счета управляющих компаний – 2,3 %;
- дома с неопределенным статусом – 1 % [1].

Такое распределение объясняется как нормативными предпочтениями (упрощенная процедура заявок через оператора), так и недостаточной финансовой грамотностью населения. По экспертным оценкам, только 18 % собственников активно участвуют в выборе способа накопления средств, остальные предпочитают вариант по умолчанию.

Несмотря на достигнутые результаты, система продолжает сталкиваться с вызовами. Ключевыми проблемами остаются дисбаланс между накоплениями и фактической стоимостью работ (дефицит оценивается в 23 % по стране), а также неравномерность выполнения региональных программ. Тем не менее, введенный механизм создал институциональную основу для поэтапного решения вековой проблемы износа жилого фонда [5].

Стремление к консолидации усилий субъектов, ответственных за модернизацию жилищного фонда, привело к законодательному закреплению права на создание профессиональных объединений. Согласно ст. 178 ЖК РФ (в ред. от 29.05.2019), региональные операторы капремонта могут формировать некоммерческие ассоциации для защиты общих интересов, обмена технологиями управления и разработки стандартизированных решений. Эта норма стала ответом на фрагментированность процессов в начальный период реформы (2014-2016 гг.), когда 67 % операторов сталкивались с дублированием функций и отсутствием методической базы. Ключевым игроком в этой сфере выступает общероссийская Ассоциация региональных операторов капитального ремонта, объединившая 72 из 85 региональных операторов по данным на 2023 год. Ее деятельность выходит за рамки простого обмена опытом: она внедрила цифровую платформу для мониторинга подрядных организаций, включающую реестр из 23 тыс. компаний с рейтингом надежности, разработала типовые сметы для регионов с учетом климатических особенностей, такие как адаптированные нормы для Крайнего Севера, и проводит ежегодные конкурсы лучших практик. Например, в 2022 году лидерами стали Татарстан с внедрением BIM-моделирования и Белгородская область, реализовавшая механизм обратной связи через мобильное приложение [1, 6].

Однако потенциал межрегиональной кооперации реализован лишь частично. Исследование НИУ ВШЭ 2021 года показывает, что только 38% операторов регулярно используют базу знаний Ассоциации, а 41 % ограничиваются формальным членством. Эта ситуация усугубляется системными проблемами, выявленными в отчетах Счетной палаты за 2019-2023 годы. Во-первых, в 29 субъектах РФ обнаружены расхождения между заявленными и фактическими данными по износу коммуникаций, достигающие в среднем 18-24 %. Причиной этого служат устаревшие алгоритмы расчета, основанные на нормативах 1984 года для панельных

домов, что приводит к хроническому недофинансированию работ на 12-15 %. Во-вторых, сохраняется дефицит прозрачности в информировании граждан: лишь 14 регионов внедрили обязательную публикацию фотоотчетов на геопорталах, в 55 % случаев уведомления о начале работ направляются менее чем за 10 дней, нарушая п. 4.2 ст. 178 ЖК РФ, и только 9 операторов используют AI-чатботы для консультирования собственников, как это реализовано в пилотных проектах Москвы и Самарской области.

Сравнительный анализ эффективности регионов, проведенный Минстроем в 2023 году, демонстрирует явные преимущества активного участия в деятельности Ассоциации. В регионах, вовлеченных в кооперацию, соблюдение сроков капремонта достигает 89%, тогда как в остальных – лишь 63 %. Экономия бюджета за счет оптимизации тендеров в первой группе составляет 17 %, во второй – только 5 %. Удовлетворенность жителей также значительно выше: 4,2 балла из 5 против 2,8 баллов в регионах без системного взаимодействия с Ассоциацией [7].

Для устранения выявленных дисбалансов необходима комплексная законодательная оптимизация. Эксперты предлагают ввести единый федеральный стандарт сбора исходных данных с интеграцией IoT-датчиков мониторинга износа, что позволит устранить расхождения в региональных программах. Другим ключевым шагом могло бы стать обязательное страхование ответственности операторов за срыв сроков по аналогии с механизмами, закрепленными в ФЗ № 214 о долевом строительстве. Кроме того, цифровизация процесса согласования работ через платформу «ГосЖКХ» с блокчейн-фиксацией этапов повысит прозрачность и сократит бюрократические издержки. Эти меры, уже частично отраженные в законопроекте № 124567-8, внесенном в Госдуму в январе 2024 года, по прогнозам, позволят увеличить собираемость взносов до 95 % и сократить сроки утверждения программ на 40 %. Реализация таких инициатив требует не только политической воли, но и активного участия профессионального сообщества, что подтверждается опытом регионов-лидеров, где синтез законодательных новаций и практической кооперации уже приносит измеримые результаты.

Таким образом, реформа капитального ремонта, запущенная в 2012 г., создала институциональную основу для решения проблемы износа жилфонда. Внедрение региональных операторов, централизованных фондов и моделей софинансирования позволило увеличить собираемость взносов. Однако системные проблемы, такие как региональная дифференциация, недофинансирование и низкая прозрачность процессов, требуют дальнейшей оптимизации.

Ключевым фактором повышения эффективности становится межрегиональная кооперация. Регионы, активно участвующие в ее

программах, демонстрируют более высокое соблюдение сроков ремонта и экономию бюджета за счет оптимизации тендеров.

### **Библиографический список**

1. Мельникова Е. Н. Совершенствование системы проведения капитального ремонта жилищного фонда // Экономика и социум. 2019. №6 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistemy-provedeniya-kapitalnogo-remonta-zhilischnogo-fonda> (дата обращения: 06.03.2025).

2. Косухин М.М. От истории создания до современного состояния и перспектив развития жилищно-коммунального хозяйства России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 48-54.

3. Мищенко, В. Я. Планирование проведения ремонтно-строительных работ с целью достижения максимального срока эксплуатации строительных объектов / В. Я. Мищенко, Д. А. Драпалюк, Н. А. Понявина // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 9. – С. 28-31.

4. Применение алгоритмов поиска кратчайшего пути в ориентированном графе при планировании капитального ремонта жилищного фонда / В. Я. Мищенко, С. А. Колодяжный, Е. П. Горбанева, Е. В. Овчинникова // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва: Издательство АСВ, 2019. – С. 326-337.

5. Mishchenko, V. Energy consumption reduction at all stages of residential buildings life cycle by means of queuing systems / V. Mishchenko, S. Kolodyazhniy, E. Gorbaneva // MATEC Web of Conferences, Ho Chi Minh City, 02–05 марта 2018 года. Vol. 193. – Ho Chi Minh City: EDP Sciences, 2018. – P. 05043.

6. Король, Е. А. Развитие методологии формирования нормативной базы в области эксплуатации зданий и сооружений и модернизация образовательных программ / Е. А. Король // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 10(109). – С. 1082-1089.

7. Шрейбер, К. А. Организационно-технологическая подготовка мероприятий по обеспечению надежности зданий / К. А. Шрейбер, К. К. Шрейбер // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 3. – С. 42-46.

## ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ВОДЫ НА РЕГЕНЕРАЦИЮ НАТРИЙ-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Павелкова А.М., аспирант,  
Спицов Д.В., канд. техн. наук, доц.  
*Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет, г. Москва, Россия*

Одним из основных методов подготовки подпиточной воды для систем отопления является натрий-катионирование [1]. Этот метод ионного обмена позволяет снизить жесткость воды до значений 5-20 мкг-экв/л, согласно типу котлового оборудования и нормам [2]. Установки отличаются легкостью эксплуатации, имеют возможность автоматического регулирования. Натрий-катионирование может применяться как в составе блока химводоподготовки котельных, так и для бытовой водоподготовки. Установка состоит из одной или двух ступеней фильтрования, что обусловлено качеством исходной воды и гидродинамическими характеристиками самого фильтра. Их существенным недостатком является значительное потребление воды на собственные нужды, в количестве 6-10 % от количества умягченной воды за один фильтроцикл.

Для фильтра натрий-катионитного ФИПа I-3,0-0,6 при жесткости исходной воды 5,6 мг-экв/л общий расход воды при регенерации фильтра составляет 190 м<sup>3</sup>, объем умягченной воды за один фильтроцикл при этом составляет от 1800 до 2000 м<sup>3</sup>, в качестве загрузки используется катионит в натрий-форме КУ-2-8 (рис. 1).

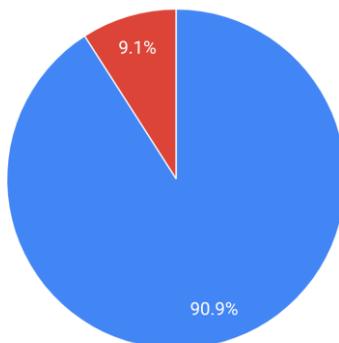


Рис. 1. Диаграмма фильтроцикла ФИПа I-3,0-0,6

Регенерация состоит из следующих этапов:

- 1) взрыхления катионита водой, направленной снизу-вверх при

скорости 10-12 м/час (при расходе 50-55 м<sup>3</sup>/час), обеспечивающее лучшую гидродинамику фильтра и очистку смолы от загрязнений;

2) восстановления обменной способности катионита путем пропускания через фильтр сверху-вниз 6-10% раствора хлорида натрия, при скорости 3-4 м/час (при расходе 21-28 м<sup>3</sup>/час);

3) отмывка ионообменной смолы происходит при скорости воды 10-12 м/час (при расходе 70-84 м<sup>3</sup>/час), при достижении жесткости фильтрата равной 200 мкг-экв/л отмывка прекращается, фильтр ставится в резерв.

Общий расход воды при регенерации фильтра составляет 190 м<sup>3</sup>, объем воды на взрыхление равен 55 м<sup>3</sup>, раствора хлорида натрия – 24 м<sup>3</sup>, отмывочной воды – 111 м<sup>3</sup>. Общая структура сточных вод, образующихся при регенерации приведена на (рис. 2).

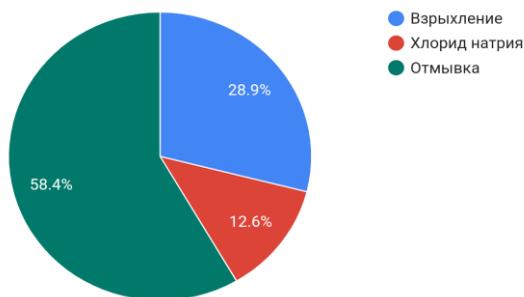


Рис. 2. Общая структура сточных регенерационных вод

Вторая порция отмывочной воды незначительно загрязнена избытком хлорида натрия и может использоваться вместо чистой воды для взрыхления, что сократит водопотребление на 30% без внесения изменений в обвязку фильтра [3].

Увеличение потребления воды при регенерации происходит при утечке или несанкционированном разборе теплоносителя из закрытой системы отопления. Исследования в области моделирования режима работы тепловых сетей, позволяют выявить область утечки до аварийной ситуации [4]. Применение индикаторных веществ, например, Уранина А, также способствует поиску скрытых утечек.

Устройство крышных котельных сокращает объем теплоносителя в сети по сравнению с центральным отоплением, что делает установки водоподготовки более компактными. Утечки в такой системе найти значительно легче в связи с отсутствием уличных трубопроводов.

Воды отмывки и отработанный регенерационный раствор содержат избыток хлорида натрия, незначительно загрязненного солями жесткости и относятся к химически загрязненным сточным водам с

неблагоприятным экологическим воздействием. В качестве регенерационного раствора иногда применяют природные рассолы хлоридно-натриевого состава, добываемых с глубины более 1 км. Это позволяет снизить затраты на хранение и приобретение хлорида натрия, состав и количество сточных вод, образующихся при регенерации фильтра рассолом, не отличается от классической регенерации раствором хлорида натрия. Раствор хлорида натрия негативно влияет на работу городских очистных сооружений. Для снижения потребления хлорида натрия и его последующего сброса в результате ионообменных процессов можно либо реализовать операции по регенерации рассола, либо сократить применение соли в процессе регенерации. Для снижения объемов потребления хлорида натрия возможно применение противоточной регенерации [5], недостатком этого варианта являются значительные материальные затраты на переустройство трубопроводов и замену фильтрующей загрузки и насосов.

Наибольшее сокращение объемов потребления хлорида натрия и воды на собственные нужды натрий-катионирования возможно при внедрении технологий замкнутого цикла. Восстановление воды [6] или регенерационного раствора [7] при помощи физико-химических методов очистки позволит замкнуть цикл регенерации и значительно сократить образование сточных вод. Реагентные методы умягчения отработанного раствора хлорида натрия не нашли широкого применения в области водоподготовки по причине низкой эффективности, значительных затрат на закупку реагентов, необходимости утилизации полученного в результате очистки осадка.

В настоящее время мембранные процессы все больше используются для очистки сточных вод. Благодаря очень низкому потреблению реагентов на собственные нужды, высокой энергоэффективности и возможности избирательной очистки мембраны будут играть все более важную роль по сравнению с другими технологиями.

### **Библиографический список**

1. Беликов С. Е. Водоподготовка: Справочник для профессионалов. - М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
2. РД 24.031.120-91. Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля. СПб., АО НПО ЦКТИ, ЦКТИ – Введ. 1991-07-01.
3. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1976. 288 с.
4. Метод локализации мест утечек в тепловых сетях на основе анализа данных узлов учета потребителей тепловой энергии / С. В. Косяков, А. М. Садыков, В. В. Сенников, А. И. Тихонов // Вестник

Ивановского государственного энергетического университета. 2021. № 6. С. 70-78.

5. Опыт эксплуатации фильтров с противоточной технологией регенерации ионитов для водоподготовки химических цехов ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 г. Волжского / Р. Г. Проскуракова, В. В. Еременко, И. В. Ракова, Н. А. Стребкова // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 4(54). С. 43-44.

6. Абоносимов О. А. Исследование кинетических характеристик мембран обратноосмотического разделения растворов химводоочистки // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. № 1. С. 306-309.

7. Первов А. Г., Спицов Д. В. Разделение высокоминерализованных стоков установок ионного обмена с применением нанофильтрационных мембран // Системные технологии. 2021. № 2(39). С. 35-55.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕРОВ В СИСТЕМАХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ**

**Руколеев А.В., канд. ист. наук, доц.**  
*Бийский технологический институт (филиал)  
Алтайского государственного технического  
университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия*

Детандер – это устройство, предназначенное для снижения давления газа без значительных потерь энергии. Он работает по принципу расширения газа, что приводит к снижению его давления и температуры. В отличие от традиционных редукторов, детандеры могут использоваться для генерации энергии, что делает их особенно привлекательными для применения в системах газораспределения. [2]

Ниже представлена схема как положительных, так и отрицательных, выявленных позиций использования детандеров в системе газораспределения (рис.1).

### **1. Энергоэффективность**

Одним из ключевых достоинств детандеров является их выдающаяся энергоэффективность. При расширении газа в детандере часть его внутренней энергии преобразуется в механическую, что позволяет использовать эту энергию для привода генераторов или других механизмов. Это свойство может существенно уменьшить расходы на электроэнергию в газораспределительных системах.



Рис. 1. Схема эффективности использования детандеров в системах газораспределения

## 2. Снижение эксплуатационных затрат

Использование детандеров может привести к снижению эксплуатационных затрат. Поскольку детандеры могут генерировать электроэнергию, это позволяет уменьшить зависимость от внешних источников энергии. Кроме того, детандеры требуют минимального обслуживания, что также снижает затраты на их эксплуатацию.

## 3. Устойчивость к изменениям давления

Детандеры демонстрируют высокую устойчивость к колебаниям давления в системе, что делает их надежным выбором для различных условий эксплуатации. Это позволяет им эффективно работать в условиях, когда давление газа может колебаться. Благодаря этому детандеры могут использоваться в различных условиях, что делает их универсальным решением для газораспределительных систем.

## 4. Экологические преимущества

Применение детандеров также приносит экологические выгоды, способствуя снижению негативного воздействия на окружающую среду. Генерация электроэнергии из газа снижает выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ, что способствует улучшению экологической ситуации. Кроме того, детандеры могут использоваться в системах, работающих на возобновляемых источниках энергии, что делает их еще более экологически чистыми.

## Недостатки использования детандеров

### 1. Высокие затраты на установку

Одним из основных недостатков детандеров является их значительная стоимость установки. Хотя в долгосрочной перспективе они могут помочь сократить эксплуатационные расходы,

первоначальные вложения могут быть довольно высокими. Это может стать серьезным препятствием для их широкого внедрения, особенно в малых газораспределительных системах.

## 2. Ограниченная производительность

Детандеры имеют ограниченную производительность, что может стать проблемой в системах с высоким потреблением газа. В таких случаях может потребоваться установка нескольких детандеров, что увеличивает сложность системы и затраты на ее обслуживание.

## 3. Чувствительность к условиям эксплуатации

Детандеры могут быть чувствительны к условиям эксплуатации, таким как температура и влажность. В некоторых случаях это может привести к снижению их эффективности и увеличению затрат на обслуживание. Поэтому важно учитывать условия эксплуатации при выборе детандеров для конкретной системы газораспределения.

## 4. Необходимость в дополнительном оборудовании

Для эффективной работы детандеров может потребоваться дополнительное оборудование, такое как системы управления и мониторинга. Это может увеличить общую стоимость системы и усложнить ее эксплуатацию.

Таким образом, детандеры представляют собой эффективное решение для снижения давления газа в системах газораспределения. Их преимущества, такие как энергоэффективность, снижение эксплуатационных затрат и экологические преимущества, делают их привлекательными для применения в различных условиях. Однако высокие первоначальные затраты, ограниченная производительность и чувствительность к условиям эксплуатации могут стать препятствием для их широкого использования.

При выборе детандеров для конкретной системы газораспределения важно учитывать все преимущества и недостатки, а также условия эксплуатации. Это позволит максимально эффективно использовать детандеры и обеспечить надежное и экономичное снабжение газом.

## **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 71559-2024 «Нефтяная и газовая промышленность. Системы трубопроводного транспорта. Арматура подводных трубопроводов»

2. Белоусов А.Е. Обоснование способа редуцирования природного газа в системе газораспределения при помощи детандеров объемного типа: дис. ... канд. тех. наук. – СПб., 2018. – 127 с.

# **ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ РЕМОНТА И ПРОФИЛАКТИКИ ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ**

**Силюк Р.А., магистрант,  
Назаренко Е.И., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Современные города сталкиваются с проблемой старения инженерных сетей, что приводит к увеличению аварийности и снижению качества предоставляемых услуг. Для повышения долговечности инфраструктуры применяются новые материалы, инновационные методы ремонта и профилактики износа.

Одним из ключевых направлений является использование современных материалов, таких как полимерные композиты, которые обладают высокой устойчивостью к коррозии и механическим нагрузкам. Бестраншейные технологии реконструкции трубопроводов, включая метод санации, позволяют минимизировать объемы земляных работ и снизить затраты на восстановление сетей. Эти технологии особенно эффективны в условиях плотной городской застройки, где традиционные методы ремонта могут привести к повреждению других подземных коммуникаций [1].

Для повышения долговечности трубопроводов применяются инновационные методы, такие как:

– бестраншейные технологии, которые позволяют проводить ремонт без значительных нарушений городской инфраструктуры;

– мониторинг износа с использованием цифровых моделей, что помогает прогнозировать сроки ремонта и минимизировать аварийность [3];

– синхронизация ремонта дорожного покрытия и подземных коммуникаций, что снижает затраты и повышает эффективность работ [3].

Внедрение новых технологий и материалов требует значительных инвестиций, однако их долгосрочная экономическая эффективность доказана. Синхронизация инвестиционных процессов и межмуниципальная интеграция позволяют оптимизировать затраты и повысить качество услуг. Кроме того, использование цифровых платформ взаимодействия с потребителями способствует повышению прозрачности и эффективности управления инфраструктурой [2].

Для повышения долговечности инженерных сетей, таких как

трубопроводы, активно внедряются новые материалы и технологии. Вот основные из них:

- полимерные композиты (рис. 1): обладают высокой устойчивостью к коррозии и механическим нагрузкам, что значительно увеличивает срок службы труб [4];

- бестраншейные технологии (рис. 2): позволяют проводить ремонт и замену труб без значительных нарушений городской инфраструктуры, что снижает затраты и повышает эффективность;

- самовосстанавливающиеся покрытия: диэлектрики, способные «заживлять» микротрещины, увеличивают долговечность и надежность сетей [5];

- керамические нанопокртия: обеспечивают высокую термостойкость и защиту от коррозии, что особенно важно в экстремальных условиях [5].

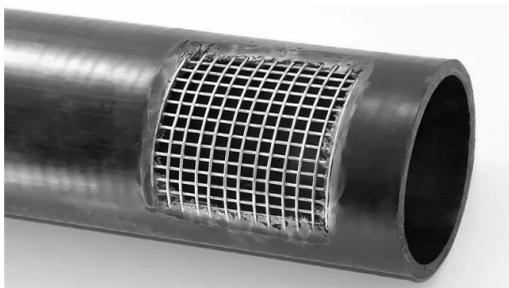


Рис. 1. Полимерно-армированная труба со стальной проволокой

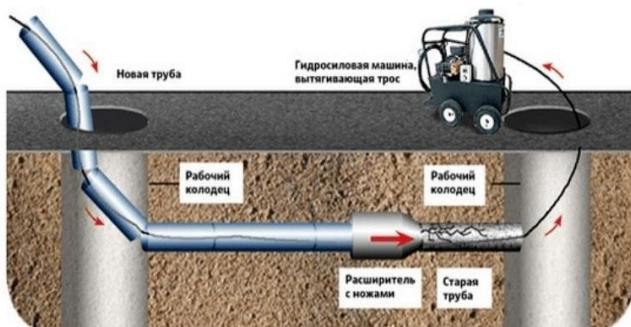


Рис. 2. Бестраншейная замена труб

Эти материалы и технологии не только повышают долговечность инженерных сетей, но и способствуют снижению эксплуатационных затрат и улучшению экологической устойчивости.

Наиболее эффективными методами ремонта и профилактики износа трубопроводов являются:

- ремонт «труба в трубе»: в поврежденный участок монтируется новая труба меньшего диаметра, что позволяет сохранить функциональность системы без значительных затрат [6];

- применение полимерных композитных материалов: использование стеклополимерных лент и других композитных материалов для герметизации и восстановления поврежденных участков [6];

- холодная сварка: накладка заплаток из полимерных материалов на поврежденные участки, что особенно эффективно для нефте- и газопроводов;

- обшивка: создание обшивочной конструкции вокруг дефекта с последующим заполнением полимерным материалом для восстановления целостности трубы.

Существуют следующие методы профилактики износа трубопроводов:

- регулярный осмотр и чистка: своевременное удаление механических загрязнений и отложений для предотвращения засоров и ухудшения пропускной способности;

- антикоррозийная защита: использование полимерных покрытий и антикоррозийных лент для защиты металлических элементов трубопровода;

- мониторинг и диагностика (рис. 3): регулярное проведение инспекций и анализ состояния трубопровода для выявления проблем на ранней стадии [7].

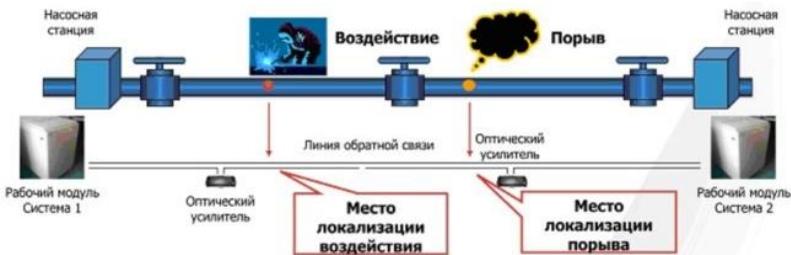


Рис. 3. Система обнаружения утечек

Перечисленные выше методы позволяют не только устранять существующие повреждения, но и предотвращать их возникновение, что способствует повышению долговечности и надежности трубопроводов.

Повышение долговечности инженерных сетей городской инфраструктуры является важным шагом на пути к созданию устойчивых

и комфортных условий жизни. Применение новых материалов, инновационных методов ремонта и профилактики износа, а также внедрение цифровых технологий, позволяют значительно улучшить эксплуатационные характеристики трубопроводов и качество предоставляемых коммунальных услуг населению.

### **Библиографический список**

1. Степанович В.В., Петровна, З.Н., Викторовна, Я.И. (2015). Оценка состояния инженерных сетей в системах коммунальной инфраструктуры и повышение эффективности энергосбережения.

2. Кириллова, А., Мусинова, Н. (2023). Mechanisms of transition to intensive factors of accelerating the modernization of public infrastructure. Экономика и предпринимательство.

3. Костышак, М., Шаталов, П., Беляева, С., & Андрунина, Я. (2021). Algorithm for the renovation of street engineering networks based on BIM technologies in the digital economy. Экономика и предпринимательство.

4. Кашеев В., Поляков В. Повышение надежности и долговечности трубопроводов тепловых сетей // Коммунальный комплекс России Ежемесячный деловой журнал. 2024. № 1. С. 5.

5. Игнатов Сергей Инновационные материалы в электротехнике: от проводников до изоляции / Игнатов Сергей [Электронный ресурс] // marketelectro.ru: [сайт]. – URL: <https://marketelectro.ru/innovacionnyye-materialy-v-elektrotekhnike-ot-provodnikov-do-izolyacii> (дата обращения: 15.03.2025).

6. Существующие методы ремонта трубопроводов / [Электронный ресурс] // ros-pipe.ru: [сайт]. – URL: [https://ros-pipe.ru/tekh\\_info/tekhnicheskie-stati/montazh-i-remont-vodosnabzheniya-zhilykh-domov/suschestvuyuschie-metody-remonta-truboprovodov/](https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/montazh-i-remont-vodosnabzheniya-zhilykh-domov/suschestvuyuschie-metody-remonta-truboprovodov/) (дата обращения: 15.03.2025).

7. Затонский А.В., Кучев Д.Н., Брыляков А.В. Методика построения и моделирования внутритрубоного робототехнического комплекса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. №5. С. 118-131.

# НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Дудченко К.А., магистрант,  
Кладиева П.В., ст. преп.

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

Современная обстановка характеризуется неуклонным ростом преступности и террористической активности, что диктует необходимость создания надежной и многоуровневой системы охраны. Принцип, лежащий в основе охраны объектов инфраструктуры, заключается в создании условий, исключающих возможность реализации наиболее вероятных угроз. К основным угрозам относятся:

- диверсионные и террористические акты;
- хищение ценностей и денежных средств;
- умышленное повреждение собственности;
- несанкционированное вмешательство в производственно-технологический процесс.

Комплекс инженерно-технических средств охраны (далее – комплекс ИТСО) – это интегрированная система, включающая технические устройства, инженерные сооружения, системы сигнализации, связи и автоматизации, предназначенные для обеспечения всесторонней безопасности охраняемой территории или объекта [1].

Функциональность комплекса ИТСО включает в себя:

- предотвращение физического проникновения посторонних лиц на территорию;
- обозначение границ охраняемых зон, а также информирование о последствиях их нарушения;
- регулирование доступа персонала на объект и в зоны ограниченного доступа;
- своевременное обнаружение нарушителей и точек пересечения границ объекта;
- управление периметральной охранной сигнализацией объекта;

- создание для нарушителей задерживающих мер, позволяющих охране произвести оперативное реагирование;
- формирование и передачу на центральный пост охраны и диспетчерский пункт тревожных сигналов;
- фиксацию времени и количества тревожных сигналов, фактов осуществления дистанционного контроля, отключения электропитания;
- видеонаблюдение за периметром и обстановкой в охраняемых зонах объекта с помощью телевизионной системы охраны;
- выявление попыток несанкционированного внесения на объект опасных веществ и предметов;
- осуществление контроля действий сотрудников охраны объекта.

В состав комплекса ИТСО входят инженерно-технические средства защиты, технические средства охраны, а также вспомогательные системы и средства [2].

Основной задачей инженерно-технических средств защиты является противодействие несанкционированному доступу посторонних лиц на объект. Следовательно, они обеспечивают:

- ограничение проникновения посторонних лиц на территорию объекта, а также в локальные зоны безопасности, здания и помещения, подлежащие оборудованию техническими средствами охраны или выходящие фасадом на периметр;
- предотвращение демонтажа оборудования злоумышленниками;
- защиту технологических установок от преднамеренных воздействий, направленных на нарушение их работы или создание аварийных ситуаций;
- предотвращение доступа посторонних лиц в распределительные шкафы, к электрощитам и блокам резервного (автономного питания);
- защиту проводных коммуникаций от преднамеренного вывода их из строя [3].

Технические средства охраны представляют собой автоматизированный комплекс систем, предназначенных для контроля за безопасностью на объекте.

Технические средства охраны должны обеспечивать:

- высокую вероятность выявления попыток пересечения периметра безопасности объекта;
- своевременное реагирование, способствующее предотвращению и минимизации последствий действий нарушителей;
- минимальное срабатывание ложных сигналов тревоги;
- извещение о неисправности технических средств;
- сохранение исправного состояния при воздействии факторов окружающей среды;

- оперативное восстановление работоспособного состояния после воздействия опасных факторов окружающей среды;

- устойчивость к повреждениям какой-либо своей части без дальнейшего распространения на другие системы и создания косвенной опасности;

- сохранение работоспособности на время отключения сетевого электропитания или другого основного источника электропитания [4].

В состав технических средств охраны входят следующие системы:

- система охранной сигнализации;

- система охранная телевизионная;

- система контроля и управления доступом [5];

- система тревожной сигнализации;

- система сбора, обработки и отображения информации.

Комплекс ИТСО может включать вспомогательные системы и средства, являющиеся дополнительными элементами, обеспечивающими безопасность объекта.

Вспомогательные системы и средства включают в себя:

- систему охранного освещения;

- систему электропитания ТСО;

- средства контроля действий сотрудников охраны;

- телекоммуникационные сети.

Система охранного освещения предназначена для дополнительного освещения границ территории объекта и внутренних зон безопасности в темное время суток.

Система электропитания обеспечивает электроснабжение аппаратуры ТСО и защищает ее от неполадок в сети.

Средства контроля действий сотрудников охраны предназначены для получения информации о прохождении сотрудниками охраны контрольных точек, расположенных по территории объекта (объектов), в соответствии с установленными маршрутами движения.

Телекоммуникационные сети технических средств охраны являются сетями замкнутого типа и предназначены для обеспечения обмена информацией между техническими средствами охраны и системой сбора и обработки информации.

Правильно спроектированный и реализованный комплекс ИТСО является надежной основой для обеспечения безопасности и защиты критически важной инфраструктуры. А за эффективность комплекса инженерно-технических средств охраны, в свою очередь, отвечают правильный выбор и настройка устройств, а также квалификация персонала, осуществляющего мониторинг и управление системами охраны.

### **Библиографический список**

1. Постановление Правительства РФ от 03.08.2024 №1046 «Об утверждении требований обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса». – 27 с.
2. Решетникова А.С. Комплекс инженерно-технических систем охраны / А.С. Решетникова, Г.М. Оськина // Инновационная наука. – 2018. - №12. – С. 43-45.
3. Белов В.Г. Инженерно-технические средства охраны: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Альфа-Принт, 2019. – 300 с.
4. Щербакова И.В. Анализ эффективности систем охраны периметра объектов // Символ науки. – 2016. - №11-3.
5. Демидов Д.Е. Интегрированный комплекс инженерно-технических средств охраны и системы контроля и управления доступом / Д.Е. Демидов, И.Д. Фисун, А.Р. Читава, В.Н. Легкий // Электроника, электронная техника, информационные технологии. – 2017. – С. 7-12.
6. Лисовский, В.А. Оценка социально-экономической эффективности управления природно-техногенной безопасностью / В.А. Лисовский, М.В. Литвин, И.Г. Сапоненко, В.В. Шаптала // Информатика, вычислительная техника и управление – 2016, - Т.1, №2. – С. 141-144.

### **ПОВЫШЕНИЕ КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ»**

**Мощенко А.Н., магистрант,**

**Есипов С.М., канд. техн. наук, доц.**

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

Повышение энергоэффективности зданий становится все более актуальным направлением в строительстве. Одним из современных решений в данной области является внедрение интеллектуальных систем управления – систем «умный дом» (СУД), способствующих автоматизированному контролю микроклимата и энергопотребления [1, 2].

Системы «умный дом» адаптируются к внешним условиям, поведению жильцов и тарифной политике, что позволяет снизить энергозатраты без ущерба для комфорта. Это делает их перспективным инструментом при строительстве и реконструкции зданий [3, 4].

Цель исследования – определить влияние СУД на энергоэффективность зданий и оценить их экономическую целесообразность.

Объект исследования – гражданские здания различного назначения. Предмет – автоматизированные инженерные системы управления.

СУД позволяют интегрировать инженерные системы здания в единый управляемый комплекс. По данным Международного энергетического агентства, автоматизация инженерных систем снижает потребление энергии до 30%.

Системы включают автоматическое регулирование отопления, вентиляции, освещения, контроль качества воздуха и аварийное реагирование. Они анализируют данные о потреблении, оптимизируют режимы работы оборудования и могут взаимодействовать с возобновляемыми источниками энергии.

Функциональные возможности СУД. Современные СУД управляют температурой, освещением, влажностью, вентиляцией и электроприборами. Сценарные режимы, удаленный доступ, аварийные оповещения и интеллектуальные алгоритмы обеспечивают оптимальное использование ресурсов. Их применение позволяет адаптировать систему под конкретный объект, повысить безопасность и надежность эксплуатации.

Энергетическая эффективность зданий с использованием систем «умный дом»: сравнительный анализ. Для количественной оценки влияния систем «умный дом» на энергоэффективность зданий были составлены и проанализированы теплоэнергетические паспорта, отражающие параметры теплопотерь и удельного энергопотребления. В исследовании использованы расчеты, выполненные согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В качестве объектов анализа выбраны два гражданских здания, расположенных в различных климатических зонах – в городах Геленджик и Анапа. Для каждого здания было смоделировано два варианта: без использования СУД и с интеграцией интеллектуальных систем управления. Основные изменения параметров в паспортах обусловлены различиями в эксплуатационных режимах и технических характеристиках, возникающими при внедрении СУД [5].

В частности, во втором варианте учитывались следующие изменения:

- ночное снижение температуры в помещениях до 18 °С;
- автоматическое управление жалюзи и снижением теплопотерь через остекление (снижение потерь через окна на 20%);

- рекуперация тепла вытяжного воздуха в системе вентиляции (уменьшение теплопотерь вентиляции на 50 %);
- погодозависимое регулирование отопления;
- сокращение неэффективного потребления за счет отключения систем при отсутствии жильцов.

Пример: для здания в Геленджике потери через окна без СУД составляли 43.5 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год. После внедрения СУД этот показатель снизился на 20%, до 34.8 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год. Применение рекуперации снизило теплопотери вентиляции на 50%. Кроме того, ночное снижение температуры внутри здания с 22 до 18 °С уменьшило расчетную тепловую нагрузку.

Таким образом, различия в исходных данных паспортов напрямую связаны с функциональными возможностями СУД [6], что позволяет более точно отразить их влияние на итоговые показатели энергоэффективности.

Формула расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление:

$$Q_{om} = (\Sigma (\Delta T \times R^{-1} \times S \times t)) / A,$$

где  $Q_{om}$  – удельный расход тепловой энергии, кВт·ч/м<sup>2</sup>·год;  $\Delta T$  – разность температур между внутренней и наружной средой, °С;  $R$  – приведенное сопротивление теплопередаче, м<sup>2</sup>·°С/Вт;  $S$  – площадь элемента ограждения, м<sup>2</sup>;  $t$  – продолжительность отопительного периода, ч;  $A$  – отапливаемая площадь здания, м<sup>2</sup>.

Примеры расчетов:

Здание в г. Геленджик:

Площадь стен: 380 м<sup>2</sup>,  $R = 2.9$  м<sup>2</sup>·°С/Вт

Площадь окон: 110 м<sup>2</sup>,  $R = 0.6$  м<sup>2</sup>·°С/Вт

$\Delta T = 22$  °С,  $t = 4320$  ч,  $A = 870$  м<sup>2</sup>

$Q_{стен} = (22 \times 380 \times 4320) / (2.9 \times 870) \approx 14.0$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

$Q_{окон} = (22 \times 110 \times 4320) / (0.6 \times 870) \approx 43.5$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

Общий  $Q_{om}$  без СУД (с учетом других конструкций и инфильтрации):  $\approx 28.8$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

После внедрения СУД: снижение оконных потерь на 20%, внедрение рекуперации и погодозависимого управления →  $Q_{om}$  с СУД  $\approx 20.6$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

Экономия:  $\approx 28.4\%$

Здание в ст. Анапа:

Улучшенные наружные ограждения, вентиляция с рекуперацией

До внедрения СУД:  $Q_{om} = 25.1$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

С СУД:  $Q_{om} = 17.1$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год

Экономия:  $\approx 32.1\%$

Таким образом, расчеты на основе откорректированных исходных данных показывают, что внедрение интеллектуальных систем

управления обеспечивает существенное снижение потерь тепловой энергии. Наибольший вклад в повышение энергоэффективности вносят:

- погодозависимая автоматика,
- автоматизация управления окнами и освещением,
- оптимизация вентиляции с использованием рекуперации,
- снижение температуры в нерабочие периоды.

Сводные данные представлены в таблице:

Таблица 1

**Сравнительная характеристика энергоэффективности зданий**

Город	Класс ЭЭ без СУД	$Q_{от}$ без СУД	$Q_{от}$ с СУД	Класс ЭЭ с СУД	Экономия энергии
Геленджик	В	28.8	20.6	А	28.4%
Анапа	А	25.1	17.1	А++	32.1%

Таким образом, системный подход к формированию исходных параметров расчетов и учет эффектов внедрения СУД позволяют обоснованно утверждать о высокой эффективности таких решений в сфере энергосбережения. Результаты подтверждают, что интеллектуальное управление не только оптимизирует эксплуатационные характеристики, но и способствует достижению более высокого класса энергоэффективности зданий. Экономическая эффективность и практическая значимость внедрения СУД. Снижение энергопотребления ведет к экономии средств на отопление и обслуживание. Пример: здание площадью 300 м<sup>2</sup> экономит 15 400 руб/год при снижении потребления с 10 000 до 7 200 кВт·ч. Срок окупаемости системы при стоимости 90 000 руб – около 5,8 лет.

Дополнительные преимущества:

- снижение затрат на аварийное обслуживание;
- рост рыночной стоимости недвижимости;
- повышение комфорта и безопасности.

СУД улучшают эксплуатационные характеристики зданий и соответствуют требованиям устойчивого строительства.

В нашем исследовании мы можем сделать вывод что внедрение СУД позволяет достичь снижения тепловых потерь, повышения энергетического класса зданий и экономии эксплуатационных расходов. Автоматизация процессов создает условия для эффективного и устойчивого развития строительной отрасли.

**Библиографический список**

1. Меркулов С.И., Полякова Н.В. Навесные вентилируемые фасады: преимущества применения и проблемы пожарной безопасности. / Журнал: Строительство: новые технологии - новое оборудование. Курск 2017. 52-56 с.

2. Есипов С.М., Есипова Д.В. Концепция развития методов управления контролем качества строительных процессов на основе информационных технологий / XI Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство". Белгород 2019. 779-784 с.

3. Есипов С.М., Есипова Д.В. Статистический метод приемочного контроля в управлении качеством строительно-монтажных работ / в сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов (К 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова). В 2-х томах. Том 1. Белгород, 2019. 236-240 с.

4. Авраменко В.А., Есипов С.М. Планирование строительства с помощью программного обеспечения 4d-моделирования / в сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 1. Белгород, 2021. 153-159 с.

5. Есипов С.М., Глабец П.А., Тарасов М.В., Качалов М.В. Сравнительный анализ каркасных многоэтажных зданий из деревянных и железобетонных конструктивных элементов. / в сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства. Белгород, 2022. 19-23 с.

6. Меркулов С.И., Есипов С.М. Жизненный цикл объекта строительства на стадии эксплуатации / в сборнике: Безопасность строительного фонда России. проблемы и решения. Сборник докладов Безопасность строительного фонда России. проблемы и решения. Курск 2023. 189-193 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТУПНЫХ МЕТОДОВ КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT**

**Ратушняк В.Р., магистрант,  
Есипов С.М., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В процессе эксплуатации зданий и сооружений строительные конструкции находятся под воздействием разнообразных силовых и средовых факторов [1]. Наиболее разрушительным воздействием для железобетона является высокая температура.

На сегодняшний день существует множество способов огнезащиты от температурных воздействий железобетонных изделий, например - конструктивная. Конструктивная огнезащита – это способ создания огнестойкой преграды на несущих элементах сооружений с образованием термоизоляционного слоя на их поверхности. Довольно простой и эффективный метод конструктивной огнезащиты – это каркас из огнезащитных плит [2]. Именно этот способ огнезащиты будет рассмотрен в данной работе.

Главной целью данной работы является исследование доступных методов конструктивной огнезащиты железобетонных колонн и определение их эффективности.

Применение плит из негорючих материалов, которые крепятся к поверхности конструкции и обеспечивают огнезащиту, являются одним из наиболее эффективных способов повышения огнестойкости железобетонных колонн [3-5].

Эти панели изготавливаются из различных материалов, наиболее распространенные из них это – негорючая минеральная вата, вермикулит и негорючий гипс.

За основу в работе будут взяты негорючие гипсокартонные плиты.

С помощью программного комплекса ELCUT, испытанию подверглись три образца без статической нагрузки. В качестве образцов для испытаний использовались полые центрифугированные железобетонные колонны, наружным диаметром 560 мм, с толщиной стенки 55 мм, армированных пространственным каркасом, состоящим из 7 равномерно распределенных по окружности стержней класса S500 диаметром 12 мм и приваренной к ним поперечной спиральной арматуры из проволоки В-1, диаметром 4 мм. Толщина защитного слоя бетона во всех случаях составила 20 мм. Длина образцов составляла  $1500 \pm 10$  мм.

Для железобетонной колонны, испытываемых образцов использовался бетон марки М200 В15, плотностью  $2400 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $1,5 \text{ Вт/Км}$  и удельной теплоемкостью  $840 \text{ Дж/кгК}$ . Для арматуры применялись стержни класса S500 плотностью  $7850 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $50 \text{ Вт/Км}$  и удельной теплоемкостью  $500 \text{ Дж/кгК}$ . Для огнезащиты были применены гипсовые плиты Knauf Fireboard плотностью  $850 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $0,22 \text{ Вт/Км}$  и удельной теплоемкостью  $200 \text{ Дж/кгК}$ . В качестве заполнителя полости между огнезащитой и колонной применена каменная вата плотностью  $175 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $0,045 \text{ Вт/Км}$  и удельной теплоемкостью  $840 \text{ Дж/кгК}$ . Каркас для крепления огнезащитных плит Knauf Fireboard был выполнен из стальных оцинкованных профилей.

В самом программном комплексе ELCUT были разработаны модели железобетонных центрифугированных колон для трех образцов: без гипсовых плит, с гипсовыми плитами и с гипсовыми плитами с

заполнением пустот между каркасом и колонной каменной ватой.

Образец № 1 (рис. 1) испытывался без гипсовых плит; Образец № 2 (рис. 2) с конструктивной огнезащитой из гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной 12,5 мм; Образец № 3 (рис. 3) также имел конструктивную огнезащиту толщиной 12,5 мм из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard, но при этом в полость между каркасом огнезащиты и самой колонной была добавлена каменная вата.

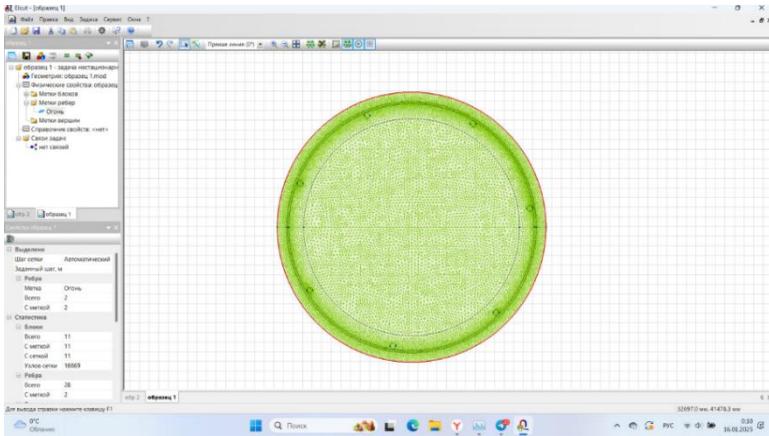


Рис. 1. Модель образца № 1

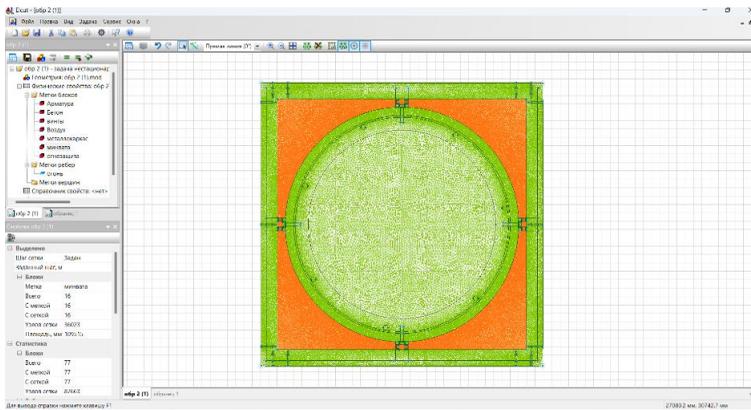


Рис. 2. Модель образца № 2 с конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard

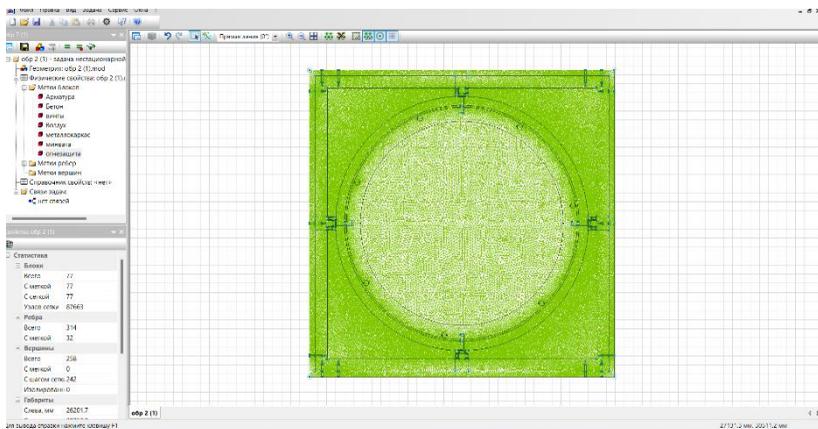


Рис. 3. Модель образца № 3 с конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard и заполнением из каменной ваты

Исходная температура испытуемых образцов равнялась 20 °С. Образцы подвергались равномерному тепловому воздействию по всему наружному периметру огнезащитной конструкции на протяжении 200 мин. Температура нагрева составила 1100 °С.

Образец №1. Моделирование показало, что при нагреве в условиях пожара защитный слой из бетона полностью подвергается прогреву, что является разрушительным, т.к. при температуре выше 300 °С, бетон марки М200 начинает резко терять прочность, согласно СП 70.13330.2012. Повышение температуры, в арматурном каркасе непременно приведет к постепенному удлинению (ползучести), что создаст микропустоты в металле, и в конечном счете возникнет разрыв [6].

Образец №2. Моделирование прогрева, с выбранным для данного образца вариантом огнезащиты с помощью огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard, показало, что при нагреве в условиях пожара все тепло концентрируется в стыках гипсовых плит и проходит во внутрь к колонне. Так же стоит заметить, что температура нагрева воздушной прослойки и каркаса между железобетонной колонной и огнезащитным листом колеблется в диапазоне от 20 °С до 450 °С, при этом температура самой железобетонной колонны практически не изменяется, оставаясь на уровне 20 °С. В местах стыка стальных профилей температура составила 476.88 °С, в месте фиксации самореза в защитный слой бетона температура - 100.4 °С.

Это дает возможность убедиться в том, что железобетонная колонна, с огнеупорной гипсовой плитой, практически полностью сохраняет свою изначальную температуру и не подвергается нагреву при пожаре.

Образец №3. Моделирование прогрева, с выбранным для данного образца вариантом огнезащиты с помощью огнестойких гипсовых плит

Кнауф Fireboard и заполнением из каменной ваты, показало, что при нагреве в условиях пожара тепло точно также распределяется по площади огнезащитного листа, концентрируясь в стыках гипсовых плит. Визуально результаты испытания Образца №3 абсолютно схожи с результатами Образца №2, но при этом заметно, что в полостях заполненными каменной ватой температура устойчиво держится на уровне, не превышающем 350 °С. В местах стыка стальных профилей температура составила 476.81 °С, в месте фиксации самореза в защитный слой бетона температура - 95.85 °С. В условиях продолжительного горения, такой комбинированный способ огнезащиты положительно отразится на времени, при котором каркас будет держаться в своем проектном положении, не позволяя нагреться железобетонной колонне.

Основываясь на проведенных выше экспериментах с нагревом железобетонных центрифугированных колонн с различными вариантами конструктивной огнезащиты, можно сделать вывод, что огнестойкие гипсовые плиты Кнауф Fireboard являются эффективным способом обеспечения огнезащиты железобетонных конструкций, позволяют значительно снизить температуру бетона и арматуры в защищаемых конструкциях. Конструктивная огнезащита в виде огнестойких гипсовых плит Кнауф Fireboard позволяет обеспечивать пределы огнестойкости железобетонных стрележневых конструкций до максимально нормируемых пределов огнестойкости в Российской Федерации R180.

### **Библиографический список**

1. Бессонов, А. Ю. Повреждение железобетонных конструкций / А. Ю. Бессонов, С. М. Есипов // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 1. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 17-22.

2. Полевода И. И., Нехань Д. С. Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2021. Т. 5. № 2. С. 139–158. DOI:10.33408/2519-237X.2021.5-2.139.

3. Неверович И. И. Железобетонные конструкции. Минск: МИПК и ПК БНТУ, 2013. 211 с. Полевода И. И., Жамойдик С. М., Нехань Д. С. Огнестойкость железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2022. № 2. С. 67–81.

4. Чернильник А. А., Яновская А. В., Доценко Н. А. Некоторые аспекты повышения эффективности производства центрифугированных железобетонных изделий // Молодой исследователь Дона. 2019. № 6 (21). С. 97–99.

5. Пастушков Г. П., Пастушков В. Г. Опыт применения центрифугированных линейных элементов с поперечными сечениями

различного профиля при строительстве многоэтажных зданий // Архитектура и строительные науки. 2014. № 1, 2. С. 36–38.

6. Нехань Д. С., Кураченко И. Ю., Олесиюк Н. М., Креер Л. А. Исследования температуры газовой среды при проведении натуральных огневых испытаний строительных конструкций // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2020. № 2. С. 130-141.

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Ткач Л.В., аспирант**

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

На промышленных предприятиях, осуществляющих технологические процессы, сопровождающиеся выделением опасных веществ, таких как токсичные газы, пыль, пары, аэрозоли, влага и избыточное тепло, система вентиляции является главным элементом для обеспечения безопасности и эффективности труда. Данная инженерная система, предназначена для создания и поддержания оптимального микроклимата в производственных помещениях, эффективность которой напрямую влияет на здоровье персонала. Правильно подобранная и смонтированная система вентиляции помогает предотвращать профессиональные заболевания.

В производственных цехах система вентиляции выполняет гораздо более важную роль, чем системы в других помещениях. В настоящее время разработано большое количество инженерных решений, направленных на эффективную фильтрацию воздуха от вредных и токсичных веществ, при этом не происходит нарушение технологического процесса, а наоборот, создаются оптимальные условия для их успешного осуществления [1].

Основной задачей регулирования сети приточной механической вентиляции является поддержание заданных в проекте расходов воздуха на всех участках. Ввиду этого, одним из важных аспектов являются методы регулирования расхода воздуха в системах промышленной вентиляции, которые и будут рассмотрены в данной статье.

Регулирование систем промышленной вентиляции основывается на нескольких ключевых принципах:

- обеспечение необходимого воздухообмена во всем здании, в диапазоне существующих нагрузок;
- обеспечение наименьших энергозатрат;
- доступность и надежность технических средств, а также программного обеспечения. В течении продолжительного времени

система должна функционировать бесперебойно, обеспечивая удобство в использовании.

Рассмотрим ряд методов регулирования расхода воздуха в системах промышленной вентиляции:

*Первый метод – изменение производительности вентилятора.* При этом методе параметры воздуховода остаются постоянными. Используются частотные преобразователи, регулирующие обороты.

Изменение производительности вентилятора происходит за счет энергоэффективных и современных видов частотных преобразователей – транзисторных частотных преобразователей (ТрЧП) на основе IGBT-транзисторов. Использование ТрЧП за счет снижения оборотов электропривода и интенсивности вентилирования позволяет адаптировать «кривую вентилятора» под «кривую системы», при этом снижаются потери энергии и наблюдается очень значительная экономия энергии по сравнению с регулированием заслонкой.

Преимущества частотного регулирования систем вентиляции:

- максимально высокий КПД и энергоэффективность;
- минимальные затраты на оплату потребляемой электроэнергии;
- плавные пуск, изменение частоты вращения и остановка двигателя позволяют также сократить потери воздуха и дополнительно повысить энергоэффективность [2].

Недостатками использования частотного преобразователя являются: трудности в подборе воздухораспределителей, сложности аэродинамического расчета, высокая стоимость.

*Второй метод – использование регулирующих устройств (регуляторы расхода воздуха).* В данном методе остаются постоянными некоторые параметры вентилятора, это дает возможность учитывать тепловую нагрузку помещений, также возможно полное блокирование притока свежего воздуха или наоборот создание условий для полноценного притока при помощи шиберов и отсечных клапанов. Плавное регулирование, в данном методе, может быть обеспечено с помощью ирисовых клапанов, позволяющих в каждом отдельном помещении плавно регулировать воздухообмен.

Применение регулирующих устройств обеспечивает адаптацию системы к меняющимся условиям. За счет их использования повышается безопасность функционирования вентиляционных систем, так как минимизируется риск перенапряжения, которое может спровоцировать аварии и повреждения оборудования. От правильного подбора и настройки регуляторов во многом зависит оптимальная работа данных систем [3].

Вентиляционные шиберы и отсечные клапаны предоставляют возможность ручного регулирования объема подаваемого воздуха, что позволяет повысить экономическую выгоду.

Благодаря такому регулированию снижается пиковая тепловая нагрузка в зимний и переходный периоды, обеспечивается соблюдение

нормативов качества воздуха в помещениях.

Следует отметить, что данное управление вентиляционной системой приводит к изменению аэродинамических характеристик сети, а именно увеличению или уменьшению общего сопротивления при регулировании положения запорно-регулирующих устройств [4].

Применение ирисовых клапанов, с низким гидравлическим сопротивлением и минимальными потерями давления при одинаковых расходах воздуха, позволяет снизить энергозатраты вентиляторов. Специальная конструкция ирисовой диафрагмы значительно уменьшает аэродинамический шум в клапане, обеспечивая плавное и равномерное регулирование потока, что помогает избежать резких колебаний и потенциальных аварийных ситуаций. Однако к недостаткам данного типа клапана можно отнести его сложность в эксплуатации и высокую стоимость.

Общей проблемой применения регуляторов расхода воздуха на промышленных предприятиях является засорение и накопление пыли на данных устройствах, а также абразивный износ.

*Третий метод – использование автоматических систем управления.* С помощью данного метода заданные параметры воздуха поддерживаются за счет оснащения системы автоматическими средствами управления, позволяющими регулировать поток воздуха автоматически.

Задача системы автоматического регулирования устойчиво поддерживать заданное значение регулируемой величины в зависимости от внешних воздействий или изменять ее по определенной программе [5]. Использование систем автоматических управления (САУ) реализует следующие задачи:

- дистанционное управление, предназначенное для пуска и остановки автоматических систем или ручного управления в случае возникновения отказов;
- блокировка и автоматическая защита при аварийных ситуациях;
- контроль технического процесса (система автоматического измерения);
- программное управление пуском и остановкой всей системы или отдельных подсистем;
- автоматическое регулирование основных технологических параметров и характеристик (давление, температура, состав газов, уровень, и т.д.) [6].

На рис. 1 представлена типовая схема САУ системы промышленной вентиляции.

Недостатками использования САУ являются:

- чрезмерные расходы на разработку – стоимость исследований и разработка процесса автоматизации может превышать суммы экономии от нее;

– угрозы безопасности – автоматизированная система может иметь ограниченный уровень интеллекта, и, следовательно, более восприимчива к совершению ошибки за пределами своей непосредственной сферы знаний;

– высокая начальная стоимость – автоматизация нового продукта или производства, как правило, требует очень серьезных финансовых вложений по сравнению с удельной стоимостью продукта, хотя стоимость автоматизации может быть распределена среди многих продуктов и с течением времени [6].



Рис.1. Типовая схема САУ системы промышленной вентиляции

Эффективная система вентиляции на промышленных предприятиях является важным аспектом обеспечения безопасности и здоровья персонала.

Оптимальное регулирование воздушного потока в промышленных вентиляционных системах достигается комплексной стратегией, объединяющей различные технологии и методы. Внедрение частотных преобразователей, управляющих устройств и автоматизированных систем управления позволяет не только поддерживать благоприятные условия труда, но и существенно сократить энергетические затраты, что приобретает особую актуальность в условиях роста цен на энергоресурсы.

Следует подчеркнуть, что эффективность вентиляционной системы напрямую зависит от корректной настройки ее элементов. Современные регуляторы позволяют минимизировать потери и повысить надежность функционирования систем. Безопасность стоит на первом месте, поскольку предотвращение аварийных ситуаций на предприятиях – это не только экономическая необходимость, но и вопрос здоровья сотрудников.

Таким образом, продуманные решения в области регулирования системы вентиляции способствуют улучшению производственного

микроклимата, гарантируя защиту работников и окружающей среды, что в конечном итоге повышает конкурентоспособность предприятий.

### Библиографический список

1. Метод регулирования системы вентиляции/Ю.Ю. Летина, В.Ю. Шашкин, Р. Аббас [и др.]// Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. - 2019-Т.7, № 1. -С. 110-113. -EDN ZHXGH.

2. Кореньков, Е. В. Применение частотного регулирования в системах вентиляции для повышения энергоэффективности / Е. В. Кореньков // Вестник магистратуры. – 2022. – № 2-2(125). – С. 32-34. – EDN LKSLV.

3. Классификация регуляторов расхода воздуха в системах промышленной вентиляции и аспирации/ Л.В. Ткач, А.В. Уваров, А.И. Михайлов // XVI Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 3., -С. 54-58.

4. Регулирование расхода воздуха в системах вентиляции газодинамическим способом / В. И. Горшков, Ю. В. Родионов, О. В. Тараканов, А. А. Святкина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 149-153. – EDN OXKGAB.

5. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Ни-мич. – Киев: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2015. – 560 с.

6. Основные преимущества и недостатки автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами / А. А. Зассеев, Б. Д. Хасцаев // Национальная Ассоциация Ученых. – 2022. – № 84-1. – С. 50-51. – EDN WPEOKY.

7. Выравнивание потоков в аспирационных патрубках / А. Б. Гольцов, К. И. Логачев, А. С. Семенов [и др.] // Экология промышленного производства. – 2024. – № 2(126). – С. 46-57. – DOI 10.52190/2073-2589\_2024\_2\_46. – EDN CLZMNY.

8. Аэродинамические основы аспирации/ Логачев И.Н., Логачев К.И. // Санкт-Петербург: изд-во Химиздат, 2005. 659 с.

9. Энергосбережение в системах вытяжной вентиляции/ Аверкова О.А., Логачев К.И., Уваров В.А. // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 11(63). – С. 137-146. – EDN VMYVMX

10. Что собой представляет общеобменная вентиляция производственных помещений. <http://ventilationpro.ru/vytyazhnaya-ventilyatsiya/chto-sobojj-predstavlyayet-obshheobmennay-ventilyatsiya-proizvodstvennykh-pomeshhenij.html>

# НАПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

**Агафонов Я.Е., аспирант**

*Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия*

Востребованность жилья в Российской Федерации подтверждается как растущими объемами жилого строительства, так и документами правительства страны. Статистика показывает рост объемов строительства, в том числе малоэтажного, а также индивидуального. В отчетах Росстата «Ввод в действие жилых домов» по различным формам собственности Российской Федерации индивидуальное жилищное строительство по удельному весу в общей площади введенного жилья выросло с 33 % в 2017 г. до 53,2 % в 2023 г. с 33,2 млн м<sup>2</sup> до 58,7 млн м<sup>2</sup> [1]. По предварительным расчетам, в 2024 г. эти значения составят более 65 % и более 66 млн м соответственно. В целом, малоэтажные жилые дома (здания до 4 этажей) составляли в 2009-2022 гг. около 50 % вводимой жилой площади, а к 2023 г. достигли

Перспективы развития малоэтажного строительства отражены не только на сайте Росстата, но и в нормативных документах. Правительством ставится задача ввести 1 млрд м<sup>2</sup> жилья к 2030 г. [2], особая роль уделяется малоэтажному и индивидуальному жилому строительству, на что указывают как программы развития, так и инициативы по финансированию граждан [3].

С ростом количества возводимых зданий растет и потребность в новых видах строительных конструкций и материалов, а поскольку конструктивные решения малоэтажных отличны от многоэтажных и составляют значительную долю от всего строительства, стоит обратить внимание на последние разработки, подходящие для таких зданий конструкций и материалов.

На сегодняшний день перспективной является технология 3D-печати. При таком методе строительство производится путем послойной экструзии растворяемых и бетонных смесей, прочность которых позволяет возводить как самонесущие, так и несущие конструкции [4-6].

Технология 3D-печати позволяет снизить трудозатраты на строительное производство, а также создать индивидуальные объемно-планировочные решения, трудно достижимые традиционными методами возведения зданий. В свою очередь, широкие возможности по созданию индивидуальных проектов делают технологию особенно привлекательной для индивидуального жилого строительства.

Эффективность конструктивного решения с точки зрения объемно-планировочных решений будет заключаться в размерах несущей ограждающей конструкции, а по теплозащите – в ее способности обеспечивать достаточное сопротивление теплопередаче, что требует сравнения с распространенными на текущий момент решениями в зависимости от места предполагаемого строительства.

Целью данной работы является оценка эффективности использования перспективных вариантов стеновых конструкций с применением композиционных гипсовых вяжущих по теплозащите и связанной с ней рациональности объемно-планировочных решений для выбранных регионов.

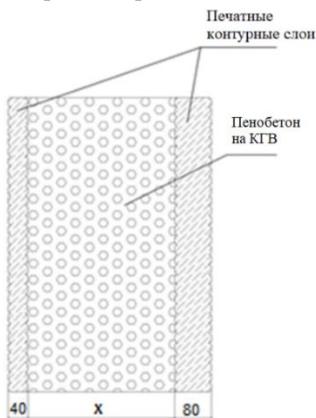


Рис. 1. Рассматриваемая 3D-печатаемая конструкция

Описание конструкции:

- печатные контурные слои (внутренний, наружный соответственно) 70 + 50 мм, плотность  $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ;
- теплоизоляционный слой пенобетона на КГВ, толщина подбирается, плотность  $\rho = 470 \text{ кг/м}^3$ .

Конструктивный расчет не входит в задачи данной работы, поэтому принимается конструкция с полимерной арматурой, не ухудшающей

Чтобы материал был экономически эффективным, разрабатываются различные технологии укладки, составы и для обеспечения прочности, надежности, долговечности и эксплуатационной пригодности [7]. В данной работе автором выбраны для исследования быстротвердеющие бетоны для печати стеновых конструкций, полученные в [8], поскольку наиболее полно реализуют идею 3D-печати. Конструкции стен (рис. 1) имеют в своем составе мелкозернистый бетон для несущих слоев и пенобетон для их заполнения на композиционном гипсовом вяжущем (КГВ).

теплотехнические характеристики за счет более низкого коэффициента теплопроводности.

Сравнение ведется с распространенными способами устройства стеновых несущих ограждающих конструкций. Согласно данным Росстата «Ввод общей площади жилых домов по материалам стен в Российской Федерации» для малоэтажного строительства лидируют кирпичные (26,5 млн м<sup>2</sup> зданий) и блочные (12,5 млн м<sup>2</sup> зданий). Таким образом, для сравнения выбраны следующие варианты.

**Вариант 1:**

- кирпич – 380 мм (несущий слой ограждающей конструкции);
- утеплитель – размер подбирается;
- воздушный зазор – 20 мм;
- кирпич облицовочный – 120 мм.

**Вариант 2:**

- газобетонный блок – 300 мм (несущий слой ограждающей конструкции);
- утеплитель пеноплекс – размер подбирается;
- воздушный зазор – 20 мм;
- облицовочный кирпич – 120 мм.

**Вариант 3:**

газобетонный блок – Размер подбирается, не менее минимального конструктивного (несущий слой ограждающей конструкции).

Рассматриваемые виды несущих ограждающих конструкций представлены на рис. 2.

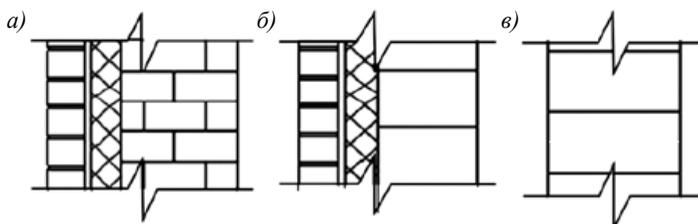


Рис. 2. Рассматриваемые ограждающие конструкции: а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3

Регионы, для которых производился расчет, выбраны, чтобы рассмотреть наиболее отличающиеся между собой климатические регионы России: Белгородская область, Томская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Республика Саха, Санкт-Петербург, Ставропольский край. Климатические регионы определялись по СП 131.13330.2020. Выбранные регионы изображены на рис. 3.

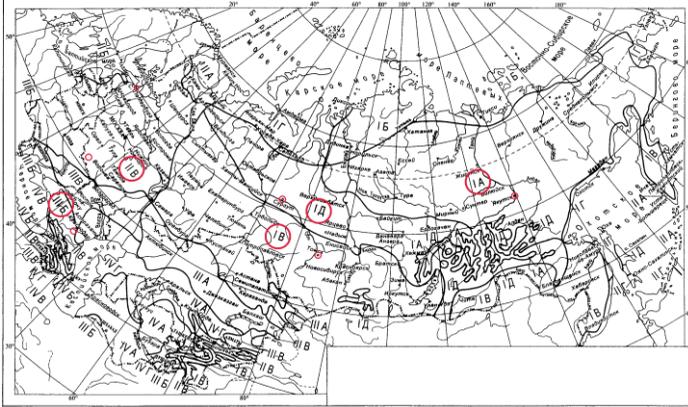


Рис. 3. Выбранные места и регионы, отмеченные на схематической карте климатического районирования

Согласно СП 50.13330.2024 и СП 131.13330.2020 для каждого региона рассчитывается величина градус-суток отопительного периода по формуле (1):

$$ГСОП = (t_{в} - t_{н})Z_{н}, \quad (1)$$

где  $t_{в}$  – температура в помещениях жилого здания;  $t_{н}$  – температура периода со среднесуточной температурой  $\leq 8^{\circ}\text{C}$ ;  $Z_{н}$  – продолжительность указанного периода.

Сопротивление теплопередаче ограждения  $R_0$  складывается из сопротивлений передаче тепла каждого из слоев, формула (2):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{int}}$  – коэффициент тепловосприятия воздуха;  $\alpha_{\text{ext}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха, для каждого из слоев;  $R_i$  – сопротивление теплопередаче каждого из слоев (формула 3):

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности.

Результаты анализа толщины стеновой конструкции приведены в табл. 1.

Было выявлено, что по эффективности применения рассматриваемая 3D-напечатанная конструкция превосходит другие варианты для Санкт-Петербурга и Белгородской области и для более жаркого региона Ставропольского края. По сравнению с остальными вариантами, многослойная стеновая конструкция имеет меньшую толщину во всех регионах, разница со стенами из керамического кирпича достигает 17 см в

Ставрополе, однако преимущество слабее в более холодных регионах, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Республика Саха, где рекомендуется оценивать возведение малоэтажных зданий методом 3D-печати в комплексе.

*Таблица 1*

**Толщина стеновой конструкции, соответствующей требованию теплозащиты**

Тип стеновой конструкции	Общая толщина конструкции					
	Санкт-Петербург	Белгород	Ставрополь	Якутск	Томск	Сургут
Кирпич керамический с теплоизоляцией	0,57	0,56	0,55	0,63	0,59	0,60
Газобетон с теплоизоляцией и облицовочным кирпичом	0,45	0,44	0,43	0,51	0,47	0,48
Газобетон	0,45	0,45	0,40	0,80	0,60	0,65
Многослойная стеновая конструкция (3D-печать)	0,41	0,40	0,37	0,64	0,49	0,53

Произведенный теплотехнический расчет аддитивно-изготовленной стеновой конструкции из бетонов на основе КГВ, подтвердили соответствие принятого решения нормативным показателям для объектов малоэтажного строительства для всех рассмотренных регионов России, что согласуется с работами авторов [4, 5, 9].

Более полный результат дает оценка с привязкой конкретному региону, поскольку у многослойных конструкций теплопроводность варьируется за счет изменения теплоизоляционного слоя. Преимущество конструкций, возведенных при помощи аддитивных технологий, сильнее всего проявляются в Санкт-Петербурге, Белгородской области, Ставропольского края, а для более холодных точек (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Республика Саха) требуется комплексная оценка.

По результатам теплотехнического расчета при уточнении характеристик применяемых сейчас конструкций их толщина увеличивалась в связи с учетом доступных на рынке размеров кладочных блоков и теплоизоляционных материалов. Конструкции, полученные методом 3-D печати, таким недостатком не обладают и могут быть сразу изготовлены оптимальной толщины.

**Библиографический список**

1. Аналитическая записка «О жилищном строительстве в Российской Федерации в 2023 году»

URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jil\\_stroi\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jil_stroi_2023.pdf) (дата обращения: 01.03.2025).

2. Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035 г.

3. Постановление Правительства РФ от 30.12.2017 N 1710 (ред. от 20.01.2023) "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации"

4. Акулова И.И., Славчева Г.С., Макарова Т.В. Технико-экономическая оценка эффективности применения 3d-печати в жилищном строительстве // Жилищное строительство. 2019. № 12. С. 52-56.

5. Кротов О.М., Птухина И.С. Оценка эффективности применения 3d-печати для стеновых конструкций // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 73-79.

6. R.G. Alvarado, G. Moroni, P. Banda, 3D Architectural Evaluation of 3D-Printed Buildings // 2021. Buildings, 11(6): 254.

8. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Малоэтажное жилищное строительство как основа инновационного развития строительной отрасли // Вестник евразийской науки. 2021. № 2.

9. Шаталова С. В., Чернышева Н. В., Лесовик В. С., Елистраткин М. Ю., Шеремет А. А. Разработка комплексного решения для 3d-печати стеновых конструкций // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2022. № 10.

10. Берсенева М.Л., Клиндух Н.Ю., Данченко Т.В., Яшкина А.А. Экономическая эффективность аддитивных технологий в строительной отрасли // Вестник Евразийской науки, 2020 № 1.

## **ПРИМЕНЕНИЕ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Бездетко Е.О., магистрант,  
Василенко Т.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Биотехнология, как наука достаточно обширна и в перспективе она может стать одной из основных стратегических областей, позволяющих радикально изменить строительную отрасль. Исследования в области строительства и биотехнологии требуют междисциплинарного сотрудничества между биологами и инженерами строителями. Для того чтобы выбрать материалы для биотехнологической промышленности и

решить задачи коррозионной защиты оборудования, следует учитывать ряд особенностей строительной отрасли:

1. Высокие требования к чистоте конечной продукции. Строгий контроль за отсутствием загрязнений, которые могут влиять или препятствовать дальнейшему производственному процессу.

2. Использование комбинированных производственных схем. Что позволяет быстро обновлять ассортимент конечных продуктов в биотехнологии и способствует популяризации схем, которые оперативно переключаются с производства одного продукта на выпуск другого, используя ту же аппаратную базу. Это дает возможность выпускать разнообразные материалы для строительства.

3. Способность к коррозионной защите строительных материалов, сохранение прочности, структурных качеств и других свойств при физических, химических и биологических воздействиях на материалы [1].

Различные виды микроорганизмов известны своей высокой способностью к биологическому разрушению строительных материалов. При воздействии микроорганизмов на материалы, особенно на бетон, наблюдается потеря веса и выделение кальция. Проводятся различные исследования на строительных материалах: гранит, керамика, бетон и штукатурка для выявления причин и способов предотвращения изменений свойств материалов при взаимодействии с грибами. Изучались такие параметры как: содержание эргостерина, микроскопические изображения, биолюминесцентные визуализации, измерение pH и анализ с помощью рентгеновской спектроскопии. Особое внимание было уделено предложению соответствующего метода оценки воздействия грибков на поверхность строительных материалов с использованием передовых аналитических методов [2].

Однако природа создала материалы и процессы с оптимальными характеристиками, которые полностью поддаются биологическому разложению. Анализ биоинспирированных материалов требует знания как биологических, так и инженерных принципов, которые являются частью обширной области исследований, называемой биотехнологией. Ученые рассматривают современные знания о потенциале этой развивающейся области, в частности, в разработке материалов и технологий для строительной отрасли, использование бактерий для повышения прочности бетона и стабилизации грунта, биоинспирированные высокопрочные композитные материалы, биоинспирированные клеи и покрытия, а также самоочищающиеся материалы [3]. Постоянно растущие требования к эксплуатационным характеристикам конструкций стимулируют исследования и разработку

более прочных, жестких и легких материалов. В современных материалах для создания высокоэффективных конструкций используются особые микроструктуры, неоднородности или гибридные составы [4].

В современном мире активно изучаются новые методы замены цементных материалов. Одним из направлений данной отрасли является биоцементирование. Этот процесс основан на осаждении карбонатов, которое происходит под действием микроорганизмов, использующих  $\text{CaCO}_3$ . Это способствует повышению прочности и жесткости строительных материалов. Для улучшения стабильности и прочности песчаных и илистых грунтов используют биоцементацию. Однако ее эффективность в отношении глинистых и суглинистых грунтов может варьироваться в зависимости от типа и состояния основания, а также от конкретных микроорганизмов, которые применяются. Кроме того, такие параметры, как уровень pH, влажность и наличие дополнительных добавок в грунте или загрязняющих веществ, могут оказывать влияние на результаты биоцементации. В общем, биоцементирование может стать необходимой для улучшения свойств глинистых грунтов, но нужно провести дополнительные исследования, чтобы в полной мере оценить его преимущества и ограничения в различных грунтовых условиях [5].

Исследования по изучению влияния микроорганизмов на физико-механические характеристики бетона, показали, что на ранних стадиях их влияния плотность бетона увеличивается с истечением времени. Однако при бактериальной коррозии плотность высушенного бетона оказывается ниже исходных значений также как при грибковой коррозии. Водопоглощение цементного камня в воздухе увеличивается под воздействием бактерий *Bacillus subtilis* и грибов *Aspergillus niger van Tieghem*. При микробиологической коррозии в условиях постоянной влажности за 6 месяцев водопоглощение бетона возрастает на 45 % при бактериальной коррозии и на 55 % при грибковой. В условиях комнатной температуры воздействие бактерий и плесени приводит к увеличению пористости бетона. В результате биодеструкции за полгода пористость цементного камня увеличивается на 35,5 % при бактериальной коррозии и на 79 % при грибковой. Таким образом, грибковые микроорганизмы оказывают более значительное негативное влияние на физико-механические свойства цементного бетона в отличие от бактерий [6].

На рынке строительных материалов все активнее используются вяжущие, основанные на нефтяных битумах с добавлением полимеров. Даже небольшое количество полимерного компонента, введенного в

битум, значительно улучшает его термопластичные характеристики, повышает износостойкость и продлевает срок службы покрытия. Полимерные компоненты, распределяясь в битуме, формируют пространственную сетку, которая придает битуму эластичные свойства и защищает от повреждений и коррозии, чего не хватает у существующих и введенных в масштабное производство традиционным битумам [7, 8].

Колонизация строительных материалов микроорганизмами – это первый шаг с точки зрения последующего биологического разрушения и возникновения потенциальных опасностей для здоровья, связанных со строительством. Она может приводить к биоповреждениям конструкций, зданий и сооружений. К биодеструкторам относятся: грибы, мхи, бактерии, водоросли. Исследования, проводившиеся параллельно в Индии и Польше, с использованием местной микрофлоры из данного региона, выявили схожую динамику размножения микроорганизмов в бетоне и гипсокартоне. Всего за 10 недель при благоприятных условиях количество бактерий и грибов достигло  $10^7$  КОЕ/г сухой массы материала. Стимуляция роста микроорганизмов отдельными факторами окружающей среды в индийских и польских исследованиях немного отличалась, но основным фактором изменений была влажность. Исходя из результатов, можно выявить прямую зависимость климатических особенностей, биотехнологической и строительной отраслей [9].

Влажность в помещении негативно сказывается не только на строительных материалах, но и на здоровье людей. Так ученые из Швеции провели исследование по изучению влияния повреждения водой и роста микроорганизмов в офисном здании. В минеральной вате, оконных рамах, стенах и гипсокартоне из-за повышенной влажности были выявлены такие микроорганизмы, как *Stachybotrys sp.* В сыром здании было больше плесени и бактерий в конструкции, чем в строительных материалах в сухих зданиях. Кроме того, в воздухе внутри сырого здания было обнаружено повышенное содержание 2-этил-1-гексанола – признак щелочной деградации диэтилгексилфталата в напольных покрытиях из поливинилхлорида, вызванной сыростью. В заключение отметим, что результаты этого исследования показывают, что пребывание в сыром офисном здании может вызывать воспалительную реакцию слизистой оболочки носа. Результаты также подтверждают выводы более ранних исследований, указывающие на то, что сырость в здании связана с воспалением дыхательных путей [10].

В домашних условиях часто наблюдается развитие плесени при высокой влажности на различных поверхностях (рис. 1).

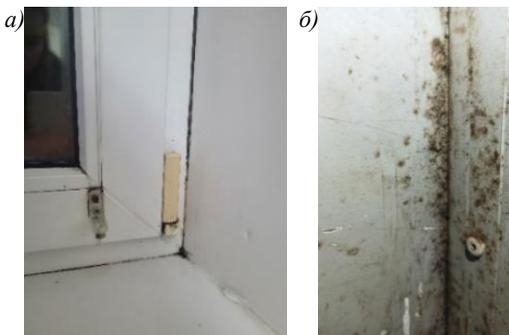


Рис. 1. Фотографии развития плесени (мицелиальных грибов): *а* – на оконной раме из пластика; *б* – на металлических конструкциях из-за высокой влажности

Существует множество методов оценки токсичности веществ, в том числе, с применением антибиотиков. Одним из них является метод дисков, который проводится в чашках Петри [11].

В данном исследовании были протестированы три наиболее популярных средства против плесени: «АнтиПлесень» производства ООО «СтройТоргСервис», «Уничтожитель плесени NEOMID» и «DOS-SPRAY» от GRASS. Интересно что в составе данных средств присутствуют различные компоненты, такие как: консерванты, биоцид, хлорсодержащие соединения, регуляторы кислотности, гипохлорид натрия, анионные ПАВ, метилхлороизоциазолинон и другое. Все строительные биоциды пролонгированного действия на водной основе предназначены для разных строительных материалов: гранит, кирпич, бетон, дерево, плитка, кафель, межплиточные швы, пластик и другие поверхности.

В работе описан диско-диффузионный метод (ДДМ) определения чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам, согласно МУК 4.2.1890–04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам» [12]. На рис. 2 представлены чашки Петри со средой Чапека и с пропитанными в биоцидах дисками. Диско-диффузный метод удобно применять, когда испытуемое вещество не растворимо в воде. В процессе диффузии вещества в питательной среде образуется область, в которой рост микроорганизмов подавляется, и она располагается вокруг бумажного диска. Экспериментально наблюдается подавление роста колоний *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus niger* в первой и третьей чашках Петри.

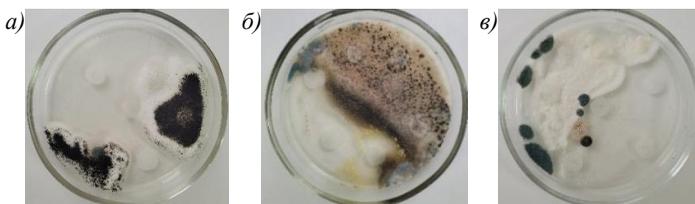


Рис. 2. Фотографии развития плесени (мицелиальных грибов) на питательной среде Чапека: *а* – чашки Петри с бумажными дисками, обработанными «АнтиПлесень» производства ООО «СтройТоргСервис»; *б* – чашки Петри с бумажными дисками, обработанными «DOS-SPRAY» от GRASS; *в* – чашки Петри с бумажными дисками, обработанными «Уничтожитель плесени NEOMID»

Зона фунгицидности – это зона отсутствия развития грибов вокруг образца на питательной среде. Фунгицидные свойства материала определяют по табл. 1, согласно ГОСТ 9.049-91 [13].

Таблица 1

**Оценка фунгицидных свойств материалов**

Степень развития гриба	Оценка материала
0 (наличие зоны ингибирования)	Сильное влияние фунгицидного эффекта из-за диффундирования веществ в питательную среду
1	Фунгицидность слабая
от 2 до 5	Отсутствие фунгицидного эффекта

В результате исследований наиболее эффективным оказалось самое доступное и не дорогое средство от плесени на строительных материалах – это «АнтиПлесень» производства ООО «СтройТоргСервис». В его составе вещество с наиболее сильным влиянием фунгицидного эффекта из-за диффундирования веществ в питательную среду. Таким образом не все биоцидные препараты эффективны против плесени, как заявлено на упаковке. Исследования показывают, что физические, химические и биологические факторы, способствующие коррозии строительных растворов и бетонов, тесно взаимосвязаны. При взаимодействии строительных материалов с м/о существует вероятность изменения таких факторов, как: долговечность, безопасность и внешний вид зданий и сооружений. Биокоррозию не следует рассматривать исключительно как химическую реакцию. Необходимо разработать методы тестирования для оценки биокоррозии и улучшить состав строительных материалов, включая бетон, с учетом биологических факторов. Эти два направления требуют обновления существующих норм и правил. Для решения данной проблемы нужен междисциплинарный подход, который объединит усилия различных специалистов, так или иначе связанных со строительством [14].

Исходя из всего вышеперечисленного, формируется четкое мнение экспертов, что строительство должно опираться на прочную и динамичную исследовательскую базу, частично финансируемую государством. В то же время государство нуждается в базе для исследований и знаний, чтобы выполнять свою роль, например, в качестве управляющего технологиями, материалами и научными открытиями, связанными с инфраструктурой, биотехнологией и строительством [15].

### **Библиографический список**

1. Миронов М. А. Материаловедение в биотехнологии и пищевой промышленности: учеб. -метод. пособие / М. А. Миронов; Министерство образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018 – С. 86.

2. Łowińska-Kluge, A., Horbik, D., Zgoła-Grześkowiak, A., Stanisiz, E., & Górski, Z. A comprehensive study on the risk of biocorrosion of building materials. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 2016, С. 13–21.

3. Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J. A. Biotechnologies and bioinspired materials for the construction industry: an overview // *International Journal of Sustainable Engineering*, 2013, P. 235–244.

4. Barthelat, F. Architected materials in engineering and biology: fabrication, structure, mechanics and performance // *International Materials Reviews*, 2015, P. 413–430.

5. Преснов О. М., Дорошко А. Д., Зуева Д. В., Матвеев Л. П. Перспективные биотехнологии в строительном инжиниринге // *Системные технологии*. 2024. №2 – С. 51.

6. Строкин К. Б., Новиков Д. Г., Коновалова В. С., Касьяненко Н. С. Влияние микроорганизмов на физико-механические свойства бетона // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. 2021. №10. – С. 9.

7. Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон. М.: ЭКОН, 2008 – С. 118.

8. Степанович Ю. А., Шрубок А. О. Влияние добавок полиэтилена на структуру и свойства СБС-модифицированных битумов // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2022. №2. – С. 259.

9. Reddy, M. K., Falaciński, P., & Karwowska, E. Bioreceptivity of unused building materials: effects on microbial colonisation and diversity – a Polish–Indian study. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2023, P. 2024–2033.

10. Wälinder, R., Wieslander, G., Norbäck, D., Wessen, B., & Venge, P. Nasal Lavage Biomarkers: Effects of Water Damage and Microbial

Growth in an Office Building // Archives of Environmental Health: An International Journal, 2001, P. 30–36.

11. Василенко Т.А., Бездетко Е.О. Изучение влияния антибиотика азитромицина на рост культуры почвенных микроорганизмов // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: сб. докл. Междунар. научн. конф., Алушта-Белгород, 30 мая – 3 июня, 2022 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. С. 365–370.

12. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: Методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – С. 91.

13. ГОСТ 9.049-91. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов: Комитет стандартизации и метрологии СССР: дата введения 1992-01-07 – М.: Издательство стандартов, 1992 – С. 15.

14. Уряшева Н. Н. Взаимодействие микроорганизмов с каменными строительными материалами // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2017. №3 – С. 7.

15. Gann, D. Should governments fund construction research? // Building Research & Information, 1997, P. 257–267.

## **МОДИФИЦИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО**

**Воронцов В.М., канд. техн. наук, доц.,**

**Рябцева С.В., ст. преп.,**

**Яремчук М.В., аспирант**

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

Один из наиболее эффективных путей повышения качества связующего на основе боя стекла – применение химических модификаторов. В современной технологии бетона широко применяют различные виды химических добавок, позволяющих направленно регулировать структурообразование композитов и совершенствовать их технологию. Для стеклощелочного вяжущего (СЩВ) наиболее эффективна добавка жидкого стекла, так как силикат натрия по своему составу близок к вяжущей суспензии СЩВ. Также он оказывает разжижающее действие, снижая тиксотропию суспензии за счет разрушения агрегативных структур [1-3]. Однако жидкостекольные

композиции, обладая высокой растворимостью, снижают водостойкость материалов на их основе и являются довольно дорогостоящими.

В предстоящих исследованиях в качестве модификатора СЩВ была использована силикат-глыба – полуфабрикат при производстве жидкого стекла, имеющая меньшую растворимость и стоимость, чем конечный продукт производства. Силикат-глыба, как и само жидкое стекло, обладает уникальной способностью проявлять адгезионные свойства и средство к материалам различной химической природы, что является склеивающим фактором при производстве композиционных материалов [4-6].

В экспериментах использовался бой оконного и тарного стекла, пропущенный через лабораторную щековую дробилку с выходным размером щели 5 мм и просеянный сквозь сито с отверстиями 2,5 мм. Силикатная глыба представляет собой аморфную массу, произведенную на ОАО «Торговый дом «Стеклопродукт», г. Шебекино, с силикатным модулем ( $M = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ), равным 2,81. Использовалась также гранулированная натриевая едкая щелочь, марки «х.ч.», ГОСТ 24363-80 и водопроводная вода.

Стеклобой (СБ) и силикат-глыба (СГ) измельчались совместно (в заданных соотношениях) в водном растворе щелочи. Помол осуществлялся в лабораторной фарфоровой мельнице до удельной поверхности твердых частиц 500–550 м<sup>2</sup>/кг. После помола из мельничного барабана извлекалась вязкая клеящаяся масса, которой заполнялись металлические формы с кубическими ячейками размером 3×3×3 см. Тиксотропное разжижение и уплотнение массы происходило на встряхивающем столике при воздействии на содержимое форм 200 ударов. Через 16–17 ч. после формования (время набора распалубочной прочности) образцы извлекались из форм и подвергались тепловой обработке (сушке) в сушильной камере при температуре 85–90°С в течение 4 ч. В процессе сушки образцы затвердевали и набирали прочность.

Каждая из серий, затвердевших образцов делилась на две части, одна из которых погружалась в воду и доводилась до состояния водонасыщения, другая оставалась на открытом воздухе. Затем все образцы подвергались физико-механическим испытаниям. Определялись средняя плотность, прочность при сжатии и коэффициент размягчения (Кр). Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Как показывают результаты, приведенные в табл. 1, добавка силикатной глыбы оказывает модифицирующий эффект при получении СЩВ, при этом выявлено оптимальное ее количество в вязущем и установлены оптимальная концентрация раствора щелочи и водотвердое отношение. Оптимальным оказался состав № 5, который показал наибольшие значения прочности образцов в сухом и водонасыщенном

состоянии (38,7 и 38, 4 МПа соответственно) с коэффициентом размягчения (водостойкости) 0,99.

Таблица 1

**Результаты физико-механических испытаний образцов\***

№ П/П	Содержание компонентов		Конц. р-ра NaOH	В/Т	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа		Кр
	СБ	СГ				сухих	водон.	
1	91,5	8,5	15,3	0,17	1904	22,3	18,9	0,85
2	91,5	8,5	16,7	0,15	1911	23,4	20,4	0,87
3	95,0	5,0	15,3	0,17	1931	25,9	23,0	0,89
4	96,5	3,5	13,0	0,20	1923	26,6	21,9	0,82
5	97,5	2,5	13,0	0,20	1980	38,7	38,4	0,99
6	97,5	2,5	14,0	0,18	1970	33,7	30,9	0,92
7	97,5	2,5	12,6	0,22	1933	29,6	26,1	0,88
8	98,5	1,5	13,0	0,20	1973	25,5	25,0	0,98

Примечание: \*Соотношения между СБ и СГ взяты в мас. %, концентрация раствора щелочи в мас. % к 100 г раствора.

В целях установления математической зависимости состава СЩВ от содержания СГ, концентрации раствора щелочи и значения В/Т была проведена серия опытов с использованием метода математического планирования эксперимента по схеме двухуровневого трехфакторного эксперимента. При этом количество стеклобоя было задано постоянным, а входными параметрами обозначены:  $X_1$  – концентрация раствора щелочи в диапазоне 12–14 %;  $X_2$  – содержание силикат-глыбы в массе вяжущего, 1,5–3,5 %;  $X_3$  – водотвердое отношение, 0,18–0,22. Выходным параметром ( $Y$ ) была определена прочность при сжатии сухих образцов, МПа. Интервалы варьирования переменных величин были определены на основе результатов табл.1. В соответствии с методикой [7], матрица планирования эксперимента сформировалась следующим образом (табл. 2):

Таблица 2

**Матрица планирования эксперимента**

№	Факторы в безразмерном виде			Факторы в натуральном виде			Y
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	
1	-1	-1	-1	12	1,5	0,18	29,6
2	+1	-1	-1	14	1,5	0,18	31,0
3	-1	+1	-1	12	3,5	0,18	2,9
4	+1	+1	-1	14	3,5	0,18	31,3
5	-1	-1	+1	12	1,5	0,22	28,2
6	+1	-1	+1	14	1,5	0,22	29,6
7	-1	+1	+1	12	3,5	0,22	28,6
8	+1	+1	+1	14	3,5	0,22	30,0

В результате проведенных математических расчетов выведено уравнение регрессии:

$$Y = -106,07 + 7,76 X_2 + 719,14X_3 - 41,95X_2X_3 \quad (1)$$

Результаты расчетных значений близки к табличным, то есть выведенное уравнение регрессии адекватно описывает результаты проведенных экспериментов. При этом определено, что основное влияние на величину механической прочности вяжущего оказывают содержание в его составе добавки силикат-глыбы и величина В/Т. Концентрация щелочного раствора (переменная  $X_1$ ) оказалась незначительным параметром и потому не вошла в выведенное уравнение.

Таким образом, подобрана модифицирующая добавка к стеклощелочному вяжущему – силикат-глыба, оказывающая положительное влияние на нарастание механической прочности и величину коэффициента водостойкости. Состав вяжущего оптимизирован с применением математической обработки.

### **Библиографический список**

1. Румянцев, Б.М. Получение теплоизоляционных материалов из стеклобоя / Б.М. Румянцев, Е.И. Зайцева // Известия вузов, Строительство. – 2002. – № 8. – С. 24-27.

2. Зайцева, Е.И. Пенобетон на основе стеклобоя – решение проблемы утилизации техногенного отхода / Е.И. Зайцева, Д.А. Черников // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2002. – № 9. – С. 10-11.

3. Воронцов, В.М. Композиционное вяжущее с использованием стеклобоя / В.М. Воронцов // Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Научеомкие технологии и инновации» (XXIII научные чтения) : сборник докладов, ч. 4. – Белгород, 2019. – С. 92-94.

4. Тотурбиев, А.Б. Влияние концентрации безводного силиката натрия и степени обводнения на клеящую способность жаростойких композиционных вяжущих / А.Б. Тотурбиев, Б.Г. Печеный, Б.Д. Тотурбиев // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2013. – № 11. – С. 48-49.

5. Михайленко, Н.Ю. Оптимизация технологических параметров синтеза высококремнеземистых жидкостекольных композитов строительного назначения / Н.Ю. Михайленко, Н.Н. Клименко // Стекло и керамика. – 2013. – № 5. – С.11-17.

6. Пузанов, С.И. Исследование влияния дисперсности силикатных систем прочностных характеристик вяжущих композитов на основе жидкого стекла / С.И. Пузанов, А.А. Кетов // Проблемы теоретической

и экспериментальной химии: Тезисы докладов 15 Российской студенческой научной конференции, посвященной 85-летию Уральского гос. ун-та им. А.М. Горького, Екатеринбург. – Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. ун-та, 2005. – С. 124-125.

7. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие для химико-технологических специальностей вузов / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГИБКИЙ БЕТОН**

**Ермак Я.Ю., студент,  
Алифанова Э.С., студент,  
Дураченко А.В., ст. преп.**

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

В этой статье рассматривается уникальный строительный материал – гибкий бетон. Он также известен как сгибаемый бетон. Этот материал может произвести революцию из-за его особых качеств, таких как гибкость, упругость, легкий вес и т. д. В некоторых странах, таких как Япония, Корея, США гибкий бетон используется во многих отраслях.

Бетон широко используется в современной строительной отрасли. Он обладает хорошей несущей способностью, а также может очень эффективно выдерживать сжимающую нагрузку. Но главная проблема «традиционного» бетона заключается в том, что он не может выдерживать большие растягивающие напряжения, разрушаясь под их воздействием. Гибкий бетон является хорошей альтернативой для решения этой проблемы.

Что такое гибкий бетон?

Это особый тип бетона, который может выдерживать значительный изгиб. Он состоит из особого типа материалов, который делает его гибким. Гибкий бетон был разработан профессором Виктором Ли в Мичиганском университете. Его инженерное название – Engineered Cementitious Composite (ECC). Он проявляет свойство пластичного материала вместо хрупкого, который демонстрирует обычный бетон.

Чтобы придать бетону гибкость, нам нужно изменить состав обычного бетона. В гибком бетоне исключается крупный заполнитель. Вместо этого используются материалы, которые применяются в

армированном фибробетоне, такие как базальтовые, стеклянные, стальные, асбестовые или полипропиленовые волокна. Фиброволокна обеспечивают гибкость бетона. Они также действуют как армирующий материал.

Кроме того, нужно обеспечить гладкий слой (антифрикционное покрытие), которое обеспечивает скольжение частиц волокон друг по другу и отсутствие трения, которое может привести к трещинам в бетоне. Эта тенденция скольжения волокон друг по другу помогает бетону минимизировать трещины и обеспечивает его гибкость.

Для гибкого бетона подходит мелкий кварцевый песок, который используется на водоочистных сооружениях, если его нет, можно использовать обычный песок, но в таком случае он может повлиять на прочность и гибкость бетона. Также можно добавлять в бетон летучую золу, микрокремнезем, доменный шлак.

Для повышения удобоукладываемости бетона используют пластификаторы, такие как поликарбоксилированный эфир, лигносульфонаты, лигнин, нафталин или меламин, формальдегидсульфонат. Латекс также может использоваться в бетоне для улучшения его гибкости.

Гибкий бетон обладает рядом преимуществ, по сравнению с обычным. Первое – это способностью гнуться как металл. Он более прочный, долговечный и служит дольше обычного бетона.

Гибкий бетон обладает свойством самовосстановления, то есть он может восстанавливаться с помощью углекислого газа и дождевой воды. Частицы цемента вступают в реакцию с дождевой водой и создают сложный продукт, который расширяется и заполняет микротрещины, которые образуются в гибком бетоне.

Он не хрупкий, как стекло. Он более устойчив к растрескиванию. Он выделяет меньше вредных газов по сравнению с обычным бетоном. Гибкий бетон примерно на 20-40 % легче обычного. Использование стальной арматуры сокращается и может быть исключено. Это снижает стоимость проекта. Его можно использовать как сборный бетон.

Но наряду с очевидными преимуществами гибкого бетона, есть и ряд недостатков.

Он имеет более высокую начальную стоимость по сравнению с обычным бетоном. Для его строительства требуется квалифицированная рабочая сила, а также специальные типы материалов, которые может быть трудно найти в некоторых областях.

Качество гибкого бетона зависит от используемого материала и условий, в которых он изготовлен, а прочность на сжатие может быть меньше, чем у обычного бетона.

Но у гибкого бетона также есть особые характеристики.

Прочность на изгиб или растяжение гибкого бетона находится в диапазоне от 10 до 15 МПа, а прочность на сжатие – до 70 МПа.

Доказано, что гибкий бетон легче, а также в 500 раз более гибкий, чем обычный бетон. Его предельная деформационная способность при растяжении составляет от 3 до 5 %. Она в 300 раз больше, чем у обычного бетона. Благодаря этому бетон работает как гибкий материал, такой как металл.

Использование гибкого бетона очень перспективно.

Его применение позволяет строить здания, устойчивые к землетрясениям: конструкция, изготовленная из гибкого бетона, может выдерживать больше растягивающих напряжений, чтобы не разрушиться из-за вибрации, вызванной землетрясением. В Японии строится 60-этажное здание, в котором используется этот бетон.

Так же возможно изготовление плит из гибкого бетона. Такие плиты прочнее и долговечнее обычного полотна. Его можно использовать в военной сфере.

При использовании гибкого бетона на дорогах и мостах нет необходимости в деформационных швах, поскольку сам бетон имеет способность менять свою форму. Более того, мосты и дороги из такого материала более долговечны и имеют низкую стоимость ремонта.

### **Библиографический список**

1. Civiconcepts: официальный сайт. - 18 New Construction Materials 2025 URL: <https://civiconcepts.com/blog/innovative-construction-materials> (дата обращения: 03.03.2025).

2. StartUs insights: официальный сайт. - 10 New Energy-Efficient Building Materials Companies: Leading Sustainable Design URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/new-energy-efficient-building-materials-companies/> (дата обращения: 03.03.2025).

3. Construction Wiki: официальный сайт. - Innovative Construction Materials: What's New in 2024 URL: <https://yandex.ru/search/?text=%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%87%D0%B8%D0%BA&from=os&clid=1836587&lr=4> (дата обращения: 04.03.2025).

4. The Constructor. Building ideas: официальный сайт. - Flexible or Bendable Concrete – Composition and Uses URL: <https://theconstructor.org/concrete/flexible-bendable-concrete-composition-application/36008/> (дата обращения: 04.03.2025).

5. Constructionor: официальный сайт. - Bendable Concrete URL: <https://yandex.ru/search/?text=%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%87%D0%B8%D0%BA&from=os&clid=1836587&lr=4>

%B2%D0%BE%D0%B4%D1%87%D0%B8%D0%BA&from=os&clid=1836587&lr=4 (дата обращения: 05.03.2025).

6. Сулейманова Л.А., Богачева М.А. Повышение эксплуатационных свойств ячеистого бетона путем микроармирования полипропиленовой фиброй // в книге: Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства. Сборник тезисов докладов VIII международной научно-технической конференции. Алчевск, 2024. С. 387-390.

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ**

**Казлитина О.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Сопин Д.М., канд. техн. наук, доц.**

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

Для всех видов деятельности, включая производство, складирование, розничные торговые и развлекательные заведения, в зданиях требуется прочное основание, что обеспечит бесперебойную работу и проведение производственных операций. Промышленные полы должны выдерживать нагрузки, создаваемые транспортными средствами, а также обеспечивать безопасность и комфорт.

Бетонное покрытие промышленных полов часто подвергается динамическим воздействиям, деформации при которых намного выше, чем в стандартных квазистатических испытаниях. Исследования, проводившиеся для изучения влияния неоднородности структуры цементного камня и бетона на механизмы разрушения, прочность и ударопрочность, выявили несколько методов улучшения структуры для увеличения физико-механических характеристик бетона [1-6]. Улучшение механических и деформационных свойств бетона возможно посредством целенаправленного формирования его структуры на макроуровне, что достигается путем создания разнообразных условий взаимодействия между матрицей и заполнителями.

Ударная прочность увеличивается с ростом количества гидросиликатной фазы, которая формируется в результате пуццолановых реакций между активными минеральными добавками и гидроксидом кальция в цементной матрице (рис. 1). Задержать рост и распространение трещин в бетоне можно, изменяя условия концентрации напряжений с помощью компонентов, которые создают дополнительные границы раздела фаз, тем самым изменяя траекторию распространения трещин.



Рис. 1. Регулировка ударной прочности бетона на уровне микроструктуры

Один из таких методов включает добавление в бетонную смесь маложестких пористых минеральных компонентов (демпфирующих добавок) с различной степенью дисперсности [7-9]. Такой подход позволяет значительно оптимизировать структуру бетона, увеличивая его прочность на растяжение, устойчивость к трещинам, способность выдерживать удары и морозостойкость. Компоненты с пониженной жесткостью, находясь на пути трещины, помогают уменьшить уровень напряжений на ее вершине в соответствии с отношением модулей упругости матрицы и демпфера, в результате чего плотность упругой энергии снижается пропорционально квадрату этих модулей за счет изменения напряжений. В идеальных условиях высокая деформативность и превосходные упруго-вязкие свойства демпфирующей фазы при надежном сцеплении с матрицей могут сделать трещинообразование энергетически невыгодным и способствовать его локализации.

В крайнем случае, амортизатором при динамической нагрузке выступают включения с нулевой жесткостью, например, поры. Однако, будучи яркими концентраторами напряжений, такие включения создают высоко интенсивное локальное поле напряжений. Увеличение напряжений вокруг более мягкого включения ускоряет процесс образования трещин за счет взаимодействия растущей трещины с зоной концентрации напряжений.

Увеличение напряжений вблизи включения с низкой жесткостью ускоряет процесс образования трещин, так как растущая трещина взаимодействует с областью концентрации напряжений. В результате демпфирующий элемент с низкой жесткостью может оказаться неспособным остановить трещину, так как перераспределение напряжений нарушает равновесие и перегружает противоположную часть материала, что приводит к разрушению: либо из-за перегрузки (если смотреть с точки зрения силы), либо за счет возникновения новых трещин (рассматривая с позиции энергии).

Одним из способов увеличения ударной устойчивости является повышение статической прочности бетона. Тем не менее, такие бетоны обеспечивают лишь умеренное усиление устойчивости к ударным

нагрузкам, увеличивая ее в 2-4 раза, чего недостаточно для бетонов, эксплуатируемых в условиях динамических нагрузок. Кроме того, с увеличением прочности бетона увеличивается его хрупкость и снижаются пластически-деформационные свойства, что может приводить к моментальному разрушению материала при достижении критического состояния. Поэтому становится необходимым использование повышенных коэффициентов безопасности и надежности при проектировании конструкций из высокопрочного бетона, а также повышение вязкости разрушения и трещиностойкости такого бетона.

Использование традиционных методов армирования стальными плоскими или трехмерными каркасами может вызывать неоднородность структуры, образование пустот в бетоне и ухудшение деформационных характеристик конструкции.

Для того чтобы армирующий компонент был эффективным, его модуль упругости должен превышать модуль упругости бетонной матрицы. Результативность использования дисперсного армирования зависит от структуры и прочности матрицы, а также характеристик волокон и их параметров (рис. 2). Эффективность дисперсного армирования определяется объемным содержанием фибры, а также ее механическими и термохимическими свойствами, соотношением параметров волокон к параметрам бетонной структуры, длиной фибры и степенью дисперсности армирования. Прочность бетона при сжатии практически не зависит от длины фибры, а определяется исключительно ее количеством в смеси [10]. Напротив, прочность бетона на изгиб обусловлена длиной дисперсных волокон: максимальную прочность при изгибе можно достичь за счет армирования растянутых участков более длинными волокнами, а сжатых участков – более короткими.

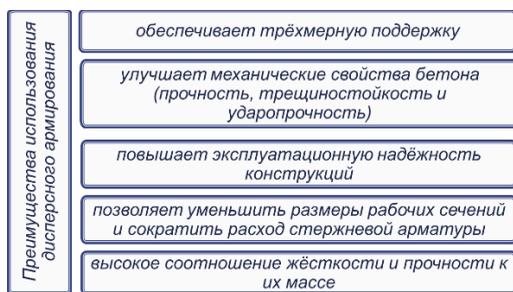


Рис. 2. Дисперсное армирование как эффективное решение проблемы неоднородности структуры бетона

Таким образом, в случае применения дисперсного армирования возникают дополнительные механизмы повышения вязкости

разрушения, связанные с появлением значительного количества поверхностей раздела, которые вызывают диссипацию энергии движения трещин. Такие механизмы роста трещиностойкости объясняются последовательными процессами торможения распространения трещин за счет разрушения границ раздела между волокном и матрицей; вытягивания волокон из матрицы. В случае относительно высокой скорости деформации время ударной нагрузки чрезвычайно короткое, а динамическая прочность на сжатие бетонов, армированных дисперсией, увеличивается за счет увеличения энергии для образования трещин.

### **Библиографический список**

1. Пухаренко, Ю.В. Принцип формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов / Ю.В. Пухаренко// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №10. С. 47–50.

2. Ключев, С.В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций / С.В. Ключев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №4. С. 71–74.

3. Дикарев, А.Н. Современные строительные бетоны для производства железобетонных конструкций // Дикарев А.Н., Богданова А.А., Ряпухин А.Н. В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Сборник докладов . Белгород, 2024. С. 44-47.

4. Голубинский, А.К. Перспективы использования нанотехнологий в строительном материаловедении / А.К. Голубинский, Д.А. Медведев // В сборнике: IX Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство". 2017. С. 675-678.

5. Голубинский, А.К. Сталефибробетон на основе композиционного вяжущего для промышленных полов / А.К. Голубинский, Д.А. Медведев, Д.А. Моторькин // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов XI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х томах. Составители В.Н. Рощупкина, В.М. Уваров. 2018. С. 29-32.

6. Study of high-quality concrete properties for roadway surfaces Kazlitina O.V., Glagolev E.S., Milkina A.S., Kazlitin S.A. Materials Science Forum. 2019. С. 477-481.

7. Кара, К.А. Композиционные вяжущие с использованием техногенного сырья / К.А. Кара // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2016. – С. 129-133.

8. Лесовик, В.С. Классификация активных минеральных добавок для композиционных вяжущих с учетом генезиса / В.С. Лесовик, Л.Д. Шахова, Д.Е. Кучеров, Ю.С. Аксютин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 10-14.

9. Лесовик, Р.В. Эффективность добавок пластификаторов для производства фибробетонов / Р.В. Лесовик, О.В. Казлитина, А.Н. Ряпухин // В сборнике: Научные технологии и инновации (XXV научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород, 2023. С. 286-288.

10. Сопин, Д. М. Армирование бетона дисперсным базальтовым волокном / Д. М. Сопин, Г. Г. Богусевич, В. А. Богусевич // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2020. – С. 385-389.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Калмагамбетова А.Ш., канд. техн. наук, доц.,  
Сериккызы Г., магистрант**

*Карагандинский технический университет  
им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан*

Исследования посвящены созданию доступного модификатора ржавчины на основе местного сырья, способного эффективно преобразовывать ржавчину в труднорастворимые соединения. Определено влияние преобразователя ржавчины, образованной в условиях АО «Жайремский горно-обогатительный комбинат», на коррозионный процесс. Полученные данные рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов, и исследование физико-механических свойств свидетельствуют об эффективном преобразовании продуктов коррозии в прочно сцепленные с металлической поверхностью труднорастворимые устойчивые соединения. Применяемые в настоящее время модификаторы ржавчины не в полной мере соответствуют всем необходимым требованиям, а именно: их ассортимент недостаточен, они довольно дороги, многие из них выпускаются в небольших количествах, что не удовлетворяет растущий спрос потребителей. Данная проблема решается тем, что в состав разработанного модификатора ржавчины входят доступные и недорогие компоненты и местные промышленные отходы: ортофосфорная кислота, фурфуроловый спирт, фосфорный шлак, лигнин. По степени активности кристаллический фазовый состав ржавчины относится к химически активной, легко и надежно преобразуемой растворами модификаторов ржавчины. Введение.

Очистка и подготовка поверхности металлоконструкций перед нанесением антикоррозионного состава влияют на долговечность и эффективность всей комплексной системы покрытий. Подготовка поверхности заключается в очистке от продуктов коррозии, окислы, старой краски, жировых и других загрязнений, препятствующих хорошему сцеплению покрытия с металлом. При окраске по неочищенной поверхности адгезия покрытия к ней понижается и это способствует образованию под металлом подпленочной коррозии.

Исследования по поиску методов окраски металла непосредственно по ржавой поверхности ведутся давно во многих странах мира. Один из путей решения этой проблемы является использование химических веществ, которые способны реагировать с продуктами коррозии, превращать их из вредных в нейтральные и преобразовывать ржавчину.

Потребность Казахстана в антикоррозионных материалах и модификаторах ржавчины в настоящее время в основном удовлетворяется за счет импорта, поэтому исследования и разработка отечественных преобразователей ржавчины являются актуальными. Данные исследования относятся к горно-обогатительной промышленности и посвящены химической очистке и защите металлических поверхностей от продуктов коррозии. Мы взяли в качестве объекта исследования оборудование и конструкции АО «Жайремский горно-обогатительный комбинат». Предварительно в корпусах обогащения и комкования комбината было проведено обследование эксплуатируемых бункеров, исследование и анализ продуктов коррозии, а также выбран наиболее оптимальный способ подготовки поверхности металла перед покраской. Результаты обследований металлоконструкций на Жайремском горно-обогатительном комбинате показали, что общепромышленная атмосфера загрязнена парами, газами, пылью и другими технологическими выделениями. Агрессивные свойства технологической воды при обогащении железистых кварцитов зависят от содержания таких солей, как бикарбонаты кальция и магния, наличия агрессивных хлор- и сульфатионов, суммарная концентрация которых в технологической воде достигает 5 г/л. Процессы, связанные с неизбежными проливами, частыми смывами агрессивной технологической воды, вызывают коррозионный износ металлического оборудования. В связи с этим наши исследования посвящены созданию доступного модификатора ржавчины на основе местного сырья, способного эффективно преобразовывать ржавчину в труднорастворимые соединения. Материалы и методики. Для определения влияния преобразователя ржавчины на коррозионный процесс отбираются продукты коррозии, которые подверглись коррозии в условиях АО «Жайремский горно-обогатительный комбинат». Методика оценки эффективности модификатора ржавчины производится

по результатам сравнительных испытаний эталонной системы покрытий, нанесенной по испытуемому составу модификатора ржавчины, а также непосредственно на ржавую поверхность [1]. На рис. 1 представлена дифрактограмма ржавчины с Жайремского горно-обогатительного комбината (а) и ржавчины после обработки модификатором ржавчины МР-2 (б).

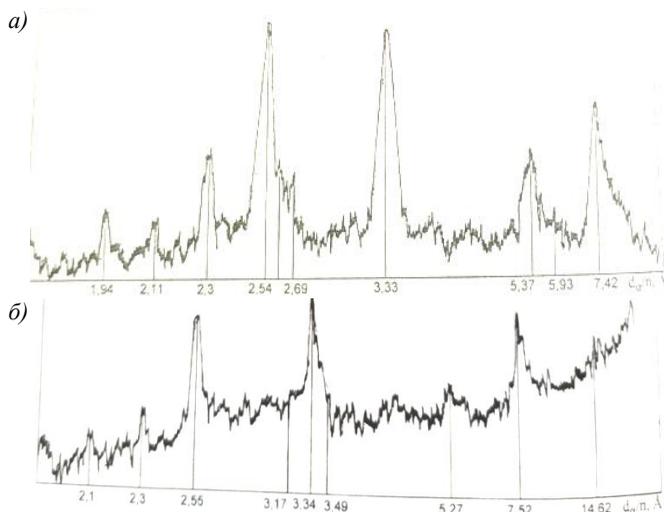


Рис. 1. Дифрактограммы: а – ржавчины; б – ржавчины после обработки модификатором ржавчины МР-2

Наблюдаемые линии идентичны и соответствуют  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -модификациям  $\text{FeOOH}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  или, соответственно, гетиту, акаганеиту, лепидокрокиту и магнетиту [2]. По внешним признакам отслаивания и вспучивания покрытия не наблюдалось, но цвет изменился на серый, что указывает на протекание химической реакции. При сравнении полученных данных с дифрактограммой чистой ржавчины, обработанной модификатором ржавчины МР-2, видно, что в обработанном образце исчезают некоторые линии, соответствующие различным модификациям  $\text{FeOOH}$ . Сохраняются отдельные линии, принадлежащие  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -модификациям  $\text{FeOOH}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Появляются новые линии, не характерные для ржавчины. Предполагается, что такие новые линии на дифрактограмме, обработанной модификатором ржавчины МР-2, принадлежат соединениям железа с фосфорными кислотами. Результаты исследований показывают, что применение состава модификатора ржавчины приостанавливает коррозию, продукты коррозии эффективно преобразуются в труднорастворимые соединения. Применяемые в

настоящее время модификаторы ржавчины не в полной мере соответствуют всем необходимым требованиям, а именно: их ассортимент недостаточен, они довольно дорогие, многие из них выпускаются в небольших количествах, что не удовлетворяет растущий спрос потребителей [3]. Эта проблема решается за счет того, что в состав разработанного модификатора ржавчины входят доступные и недорогие компоненты и местные промышленные отходы: ортофосфорная кислота, фурфуроловый спирт, фосфорный шлак, лигнин. При этом для получения фосфатных пленок пригодны растворы, в которых концентрация фосфорной кислоты должна быть невысокой – 15–17 %. Предложенный состав модификатора ржавчины МР-2 способствует усилению антикоррозионных свойств полученного фосфатного покрытия. Результаты ИК-спектроскопических исследований подтверждают эти выводы.

В ИК-спектре ржавчины (рис. 2) наблюдаются полосы валентных и деформационных колебаний гидроксильных групп при 3000–3100 см<sup>-1</sup> и 1010 см<sup>-1</sup>. Полосу поглощения около 450 см<sup>-1</sup> можно отнести к колебаниям связи Fe-O. В ИК-спектре образца, обработанного модификатором ржавчины, присутствуют вышеуказанные полосы поглощения. Высокочастотная полоса на фоне широкой полосы для ортофосфорной кислоты и продуктов ее взаимодействия с фурфуроловым спиртом и нитролигнином образует на поверхности металлов фосфатный слой, не требующий пассивации. В табл. 1 приведены показатели испытаний физико-механических свойств исследуемого модификатора ржавчины.

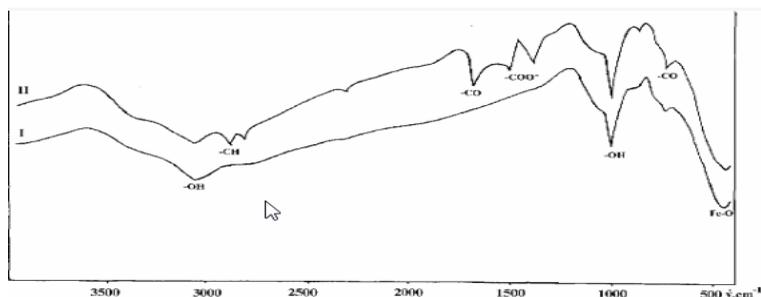


Рис. 2. ИК-спектры: I – ИК-спектры ржавчины; II – ИК-спектры ржавчины после обработки модификатором ржавчины МР-2

Для расширения ассортимента отечественных преобразователей ржавчины и решения вопросов замены их дефицитных компонентов разработан новый состав модификатора ржавчины МР-2 на основе продуктов и промышленных отходов местных производств. Композиция

разработана на основе дешевых, не дефицитных составляющих, проста в изготовлении и нанесении.

Таблица 1

**Физико-механические свойства разработанного модификатора ржавчины**

№	Показатели	МР-2
1	Вязкость по ВЗ-4 при 200С (не менее)	50
2	Времена высыхания до степени 3 (не более) при температуре: 100-1200С; 18-200С	20 мин 8 ч
3	Изгиб покрытия, мм (не более)	1
4	Адгезия пленки, балл (не более)	1
5	Прочность на удар, Н	500
6	Водопоглощение за 30 сут, %	0,56

Полученные данные рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов, и исследование физико-механических свойств свидетельствуют о том, что обработка ржавой поверхности разработанным модификатором способствует преобразованию продуктов коррозии в прочно сцепленные с металлической поверхностью труднорастворимые устойчивые соединения, покрывающие всю поверхность, включая дефектные участки металла. Применение модификатора ржавчины МР-2 на Жайремском горно-обогатительном комбинате упрощает технологию подготовки поверхности металла под окраску, увеличивает срок службы металлоконструкций, сокращает трудозатраты и расход лакокрасочного материала.

**Библиографический список**

1. Абсиметов В.Э., Калмагамбетова А.Ш. Антикоррозионные материалы для подготовки поверхности и окраски металлоконструкций в условиях ремонта. – Астана: Акмолинская типография, 1999, – 138 с.
2. Калмагамбетова А.Ш. и др. Анализ и выбор оптимальных средств подготовки поверхности металла перед окраской. // Журнал «Международный журнал экспериментального образования», № 2, часть 3, 2015.
3. Калмагамбетова А.Ш., Абдрахманова К.А., Бакирова Д.Г. Оценка активности исходной ржавчины по фазовому составу при подготовке поверхности перед окраской. // «Молодой ученый», № 140, 2017.
4. Курамбаев Ш. Р., Ибрагимов Н. М., Худайбергенов С., Камилов М. И. Композиционный модификатор ржавчины на основе местного сырья и техногенных ресурсов // Молодой ученый. – 2017. – № 12 (146). – С. 66–69.

5. Рахмонкулов М. Т., Салохиддинов Ф. А. Получение антикоррозионных материалов на основе местного сырья для нефтепроводящих трубопроводов // Молодой ученый. – 2016. – № 13 (117). – С. 207–210.

## **ХРИЗОТИЛ-ЦЕМЕНТ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Куценко П.А., аспирант,  
Пириева Л.Ю., магистрант,  
Абзалилова А.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Применение природных материалов в строительстве позволяло с древних времен возводить здания и сооружения для различных назначений, начиная от небольших хижин и заканчивая мостами, соединяющими целые континенты. Невозможно представить развитие человеческой цивилизации без использования природных ресурсов, которые стали фундаментом архитектурного достояния, культуры и технологий, а также формировали облик ландшафтов и городов на протяжении тысяч лет. И даже на сегодняшний день, в век высоких технологий, почти невозможно заменить большинство природных ресурсов на синтезированные аналоги без потери экологичности, надежности и эстетики.

Одним из таких материалов является хризотил – природный минерал с уникальными физико-химическими характеристиками. Хризотилевые волокна имеют размеры от 0,005 до 0,2 мм в длину и от 0,1 до 3 мкм в толщину, они отличаются гибкостью, огнестойкостью, химической и термической устойчивостью, а также низкой тепло- и электропроводностью. Благодаря этим качествам, хризотил стал востребованным компонентом в промышленности и строительстве уже в начале XX в. [1].

Технология применения хризотил-асбеста в строительных материалах была впервые запатентована в 1901 г. австрийским инженером Людвигом Гатчеком, предложившим продукт под названием «этернит» (от лат. aeternus – «вечный»). Этот материал состоял из 80-90% поргладцемента и 10–20% хризотилового волокна и внешне был практически идентичен современному плоскому шиферу. Благодаря высокой прочности, долговечности, огнестойкости и низкой стоимости, этернит быстро завоевал популярность. Уже в 1903 г. в Австрии был запущен первый завод по его производству, а к 1910 г. технология

распространилась по Европе и Северной Америке [2].

В Российской Империи интерес к новому материалу тоже не заставил себя ждать, уже к 1908 г. в рамках товарищества первого русского завода асбестоцементных изделий «Терро-фазерит» города Брянска выпускались цементно-асбестовые плитки, обеспечивавшие огнестойкое и долговечное кровельное покрытие, которым снабжали Брянскую, Смоленскую, Калужскую, Киевскую и Гомельскую губернии, что и послужило началом развития хризотил-цементной отрасли России. В последующие десятилетия технология быстро внедрялась и до 1940 г. в СССР были возведены заводы асбестоцементных изделий в Ростове-на-Дону, Новороссийске, Сухом Логу, Краматорске, Воскресенске, Вольске и др. [2].

Ключевые преимущества хризотил-цемента обусловлены его уникальными эксплуатационными характеристиками, подтверждаемыми многими исследованиями. Среди них наиболее значимыми являются высокая механическая прочность, устойчивость к агрессивной внешней среде и продолжительный срок эксплуатации. Минеральные волокна хризотила вступают в прочную химическую связь с портландцементом, образуя плотную цементную матрицу, благодаря чему изделия сохраняют исходные качества десятилетиями, практически без потери эксплуатационных свойств. Подобный эффект долговечности объясняется химической инертностью хризотила, устойчивостью волокон к воздействию влаги, перепадам температур и агрессивным средам, включая кислоты и щелочи [3].

Еще одно важное достоинство материала – негорючесть и высокая огнестойкость. Хризотил-цементные изделия не горят, не плавятся и не выделяют токсичных веществ даже при сильном нагреве, что делает их особенно востребованными для использования в противопожарных конструкциях и в условиях повышенных температурных нагрузок. Также следует отметить низкое водопоглощение и высокую морозостойкость хризотил-цементных листов, которые легко выдерживают многократные циклы заморзания и оттаивания без значительного снижения физико-механических характеристик [4, 5].

Широко распространено использование хризотил-цементных труб в коммунальном хозяйстве. Например, напорные трубы используются в системах водоснабжения и канализации, отличаясь своей стойкостью к агрессивным средам и коррозии, а также небольшим весом. Безнапорные кольца служат для формирования ливневой или дренажной канализации. Производят также сантехнические короба, воздуховоды, электротехнические элементы и декоративные панели.

Несмотря на запрет использования этого материала в Западной Европе, в большинстве стран СНГ, Азии и Африки он остается востребованным и активно используется в различных строительных решениях.

Одно из главных преимуществ хризотил-цементных изделий,

является доступное сырье. Россия располагает крупнейшими в мире запасами белого асбеста, которые сконцентрированы в Оренбургской области, Восточной Сибири и Свердловской области, где располагается Баженовское месторождение, которое содержит примерно 69,5 млн т хризотила и является одним из самых богатых в мире, что позволяет стабильно вести добычу уже более 100 лет.

Россия традиционно лидирует по добыче хризотила на мировом рынке, занимая почти половину мирового объема. В 2023 г. только ПАО «Ураласбест» произвело около 235 тыс. т асбестового волокна. Природные условия месторождений и развитая инфраструктура позволяют эффективно и экономично вести добычу открытым способом. Также важным является практически безотходная технология: отходы переработки серпентинита используются при производстве щебня, минеральной теплоизоляции и других строительных материалов.

В настоящее время значительная часть добываемого в России хризотила (до 60-80%) идет на экспорт, преимущественно в страны Азии. Несмотря на снижение внутреннего спроса, наличие качественного и доступного сырья является фундаментальным условием дальнейшего развития хризотил-цементной отрасли в России.

Перспективы хризотил-цементной отраслей в России связаны с адаптацией к современным экологическим и рыночным условиям. Высокий спрос на недорогие и качественные строительные материалы со стороны развивающихся стран Азии, Африки и Латинской Америки обеспечивает стабильный экспортный рынок для российской продукции [5]. Данная тенденция сохранится в ближайшие годы и будет являться важной составляющей экономической устойчивости отрасли.

Внутренний рынок хризотил-цемента будет зависеть от того, насколько эффективно предприятия смогут внедрять инновации и соответствовать растущим экологическим стандартам. В отрасли уже ведется работа по созданию новых видов хризотил-содержащих изделий, которые сохраняют традиционные преимущества асбестоцемента, но отличаются уменьшением пылевыведения и улучшенной очисткой волокна. Например, современные прессованные изделия из хризотил-цемента показывают улучшенные характеристики морозостойкости и водопоглощения, одновременно минимизируя выбросы асбестовой пыли.

Дополнительные перспективы отрасли связаны с использованием инновационных добавок и улучшенных связующих компонентов, что позволяет повысить долговечность и безопасность продукции. Перспективными сферами применения могут стать малоэтажное домостроение, несъемная опалубка для монолитных конструкций и вентилируемые фасадные системы. Развитие технологий глубокой переработки хризотилового сырья с получением дополнительных продуктов (строительных смесей, наполнителей, теплоизоляции) также усилит устойчивость отрасли.

Таким образом, при строгом соблюдении экологических требований и развитии современных технологий хризотил-цементная промышленность России имеет хорошие перспективы сохранить конкурентные позиции как на внутреннем, так и на международном рынке [1, 6].

Основной проблемой использования хризотил-цемента являются риски для здоровья людей, связанные с вдыханием асбестовой пыли [7]. Однако, при соблюдении правил работы и техники безопасности он не представляет никакой опасности.

В связи с этим производство хризотил-цементных изделий строго регулируется санитарными нормами: предприятия обязаны использовать эффективные системы вентиляции, а рабочие должны быть обеспечены средствами защиты. При монтаже и демонтаже изделий также необходимо избегать образования пыли. Кроме того, отслужившие асбестоцементные материалы относятся к опасным отходам, требующим специальной утилизации. Еще одной сложностью является негативное отношение общества к асбесту, что ограничивает его применение даже в тех областях, где это законодательно допустимо.

Современные безасбестовые альтернативы (целлюлоза, стекловолокно, базальтовые волокна и др.) позволяют избежать опасной пыли, но обладают недостатками – в первую очередь, более высокой стоимостью. Кроме того, заменители не всегда способны полностью воспроизвести свойства хризотила: целлюлоза постепенно разрушается в цементной среде, а синтетические волокна уступают по прочности сцепления с цементом.

Закключение. Хризотил-цементные материалы прошли путь от перспективного изобретения начала XX в. до широкого применения и последующей переоценки из-за выявленных рисков. Их уникальные характеристики – прочность, огнестойкость, долговечность и экономичность – сделали этот материал чрезвычайно востребованным в строительстве, особенно в России, обладающей богатой сырьевой базой.

Таким образом, будущее хризотил-цемента в строительстве будет определяться балансом между его практическими преимуществами и необходимостью минимизации рисков для здоровья и экологии. От успешного решения этой задачи зависит, сохранит ли этот материал свое место среди востребованных строительных решений.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.*

### **Библиографический список**

1. Пуненков С. Е., Пуненков Н. С., Козлов Ю. С. Современное состояние хризотил-асбестовой промышленности // Горный журнал. – 2023. – № 4. – С. 9–15.

2. Гризак Ю. С. Из истории отечественной асбестоцементной промышленности // Строительные материалы. – 2005. – № 5. – С. 13–16.
3. Наумова Л. Н. Влияние кислой среды на свойства хризотилцементной пыли // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 24–26.
4. ГОСТ 30340-2012 Листы хризотилцементные волнистые. Технические условия. Официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2013.
5. Рыбакова Д. А. Мировой рынок хризотила // Конкурентоспособность территорий: материалы XXIII Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. – 2020. – С. 191–193.
6. Строкова В. В., Везенцев А. И., Колесников Д. А., Солоха А. С. Хризотил – природный нанотрубчатый материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 2. – С. 34–38.
7. Смирнова Ю. В., Комкова А. В. Проблемы эффективного применения хризотил-асбеста в строительном комплексе России // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 10-1. – С. 81–82.

## **ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ НА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

**Максимов В.А., аспирант**

*Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ), Инженер, ФАУ «РОСДОРНИИ»*

Горизонтальная дорожная разметка – это система линий и символов на проезжей части дороги (а также на элементах дорожных сооружений и обстановки дороги), предназначенных для визуального ориентирования участников движения о порядке движения, габаритах дорожных сооружений и т.п. Разметку выполняют по утвержденной схеме, которую разрабатывают в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: ГОСТ Р 51256-2018. ТСОДД. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования.; ГОСТ Р 52289-2004. ТСОДД. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.; ГОСТ Р 54809-2011. ТСОДД. Разметка дорожная. Методы контроля.

К достоинствам горизонтальной дорожной разметки можно отнести:  
– хорошую организацию дорожного движения в силу непрерывности информации, передаваемой с ее помощью участникам движения;

- способность придавать дороге эстетически приятный вид;
- повышение безопасности дорожного движения.

Основным недостатком горизонтальной дорожной разметки является быстрый износ.

Выбор материалов и технологий для нанесения разметки на проезжей части автомобильной дороги напрямую влияет на ее ожидаемый срок службы, а значит, и на общие затраты на обслуживание.

Чтобы горизонтальная дорожная разметка могла эффективно выполнять свою функцию, она должна быть видна всем участникам дорожного движения в любых погодных условиях, то есть она должна иметь хорошие отражающие и световозвращающие свойства. Особенно это важно в ночных условиях и в условиях ограниченной видимости, когда количество визуальной информации, которую получают водители, значительно ограничено. В природе существуют три конкретные формы отражения света:

- 1) диффузное отражение;
- 2) зеркальное отражение;
- 3) полное внутреннее отражение.

При диффузном отражении от неровной поверхности отраженные лучи расходятся в разные стороны независимо от угла попадания луча. Причиной этого является структура шероховатой поверхности, из-за которой каждый падающий световой луч отражается под разными углами (рис). Диффузное отражение также называется дневной видимостью, так как позволяет людям визуальнo на протяжении всего дня воспринимать окружающие предметы. При зеркальном отражении падающий свет отражается от гладких и блестящих поверхностей при том же угле, что и входящий в противоположном направлении. Идеальное зеркальное отражение показано на рис. 1.

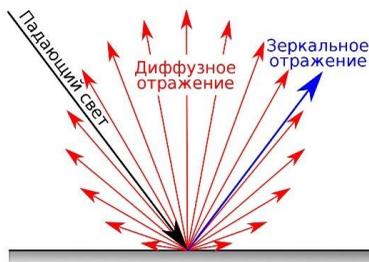


Рис. 1. Диффузное и зеркальной отражение

В реальных условиях движения зеркальное отражение обычно происходит, когда, проезжая часть мокрая или влажная и затем отраженный свет отражается при том же входящем угле, но с небольшой

задержкой. Поскольку свет от фар автомобиля отражается в противоположном направлении не сразу, происходит временное ослепление водителей встречных автомобилей. Как известно, ночные условия и условия ограниченной видимости являются самыми сложными, когда количество визуальной информации ограничено и поле зрения водителя (особенно периферическое зрение) и острота зрения значительно снижаются. В приведенных выше условиях, в большинстве случаев, единственным источником света являются фары автомобиля. В таких обстоятельствах, чтобы водитель мог воспринимать окружающую среду, свет от фар автомобиля должен отражаться от объектов окружающей среды назад к водителю, то есть должен быть достигнут эффект световозвращения. Поэтому можно сказать, что световозвращение это явление, при котором свет возвращается от поверхности обратно к его источнику.

Дорожная разметка в целом состоит из взаимосвязанных материалов в виде пигментов, связующих, наполнителей, полимеров, пластификаторов специальных химических веществ и растворителей. Пигмент в материале маркируется цветом и чаще всего представляет собой диоксид титана ( $TiO_2$ ) для белой и модифицированного хрома ( $PbCrO_4$ ) для желтой маркировки. Наполнители являются наиболее распространенными инертными неорганическими соединениями, которые повышают прочность и износостойкость материала. Особенно широко используются силикон, сульфат бария, карбонат кальция и т.д. Специальные химические соединения обеспечивают стабильность системы и оптимизируют влияние других элементов материала, в то время как растворители позволяют разбавлять и изменять вязкость самого материала. Сегодня на рынке существует широкий спектр растворителей: от хлорированных смол, алкалоидов, стирол-акрилатов до водорастворимых, а также от материалов, в которых не используются растворители, такие как термопластики.

Краски в качестве материала для нанесения разметки являются наиболее часто используемым материалом, как в Российской Федерации, так и во всем мире. Краски наносят тонким слоем (толщиной от 200 до 500 мкм). Чаще всего это однокомпонентные материалы, состоящие из четырех основных элементов: связующего, пигмента, растворителя и наполнителя (микрокальцита).

Основным преимуществом красок по сравнению с другими материалами является их стоимость и простота использования. Но, с другой стороны, краска является наихудшим материалом с точки зрения долговечности. Из-за относительно тонкого слоя материала светоотражающие свойства быстро теряются, поэтому их срок службы является самым коротким по сравнению с другими материалами и обычно составляет 3-5 мес [1, 2]. Поскольку разметку наносят чаще всего

в конце весны, видимость красок заметно уменьшается в течение 3-5 мес, а это означает, что наступающая осень и, следовательно, более короткие дни и неблагоприятные погодные условия способствуют ухудшению видимости разметки из красок. В районах с суровой зимой из-за воздействия соответствующих мероприятий по зимнему содержанию происходит их интенсивный износ [3, 4]. В этих неблагоприятных условиях разметка на проезжей части должна быть основной помощью для ориентирования участников движения, поэтому краткосрочные материалы из красок в данных условиях лучше не использовать.

Из всего вышесказанного можно заключить, что основные характеристики красок, как материала, для нанесения разметки на проезжей части, следующие: короткий срок службы; относительно плохое световозвращение; плохая видимость во влажных и дождливых условиях; низкая цена и простота применения.

В настоящее время опубликованы результаты зарубежных исследований, в которых получены статистические математические модели изменения светотехнических характеристик горизонтальной дорожной разметки в зависимости от 5 факторов [5]:

- интенсивности движения транспортных средств,
- исходных значений светотехнических характеристик,
- продолжительности периода эксплуатации разметки,
- расположения линии разметки на проезжей части,
- количества зимних сервисных мероприятий.

Наравне с коэффициентом световозвращения, основной параметр для сравнения и оценки качества горизонтальной дорожной разметки на проезжей части – это ее функциональная долговечность, которая напрямую влияет на видимость и частоту ее обновления, а также на общие расходы на нормативное содержание. Авторы в исследовании [6] предлагают измерить долговечность дорожной разметки путем определения процентного содержания материала, остающегося на поверхности проезжей части путем непосредственного осмотра, а также оценки прочности связи между материалом и поверхностью проезжей части. На функциональную долговечность дорожной разметки, по мнению авторов исследования [7], влияют: тип материала, положение разметки на проезжей части (разделительная или край), длительность эксплуатации, среднегодовая суточная интенсивность движения автомобилей, категория дороги, количество полос движения на дороге, тип асфальтобетонного покрытия [1], разрешенная скорость движения, количество применяемых противогололедных материалов (соли), абразивная очистка и объем работ по зимнему содержанию дорог.

В дополнение к этому, согласно научным исследованиям [8, 9] важным фактором функциональной долговечности являются и микростеклошарики (МСШ), качество и количество которых влияют на

коэффициент световозвращения разметки и, следовательно, на ее долговечность. Качество микростеклошариков зависит от их грануляционного состава, индекса разрушения и химического покрытия, которое влияет на адгезию стекла с материалом разметки. За последние два десятилетия различные авторы разработали ряд моделей прогнозирования функциональной долговечности дорожной разметки на проезжей части. Факторы, такие как среднесуточная интенсивность движения, начальный достигнутый коэффициент световозвращения, тип и цвет применяемого материала, тип световозвращающего материала, климатические характеристики региона, по которому проходит дорога, состояние поверхности проезжей части и положение разметки на проезжей части (краевая, осевая, пешеходники) учитываются при анализе и разработке модели [1].

Одно из первых исследований срока службы дорожной разметки было проведено в 1997 г. [10]. На основе сравнительного анализа авторам исследования удалось сделать вывод о том, что существенное влияние на световозвращение и срок службы дорожной разметки оказывают срок эксплуатации материалов и среднесуточная интенсивность движения. Каждая из перечисленных переменных в исследовании оказалась довольно значимой. Тип связи между независимым и зависимым переменными - гиперболические. На основании выводов из исследования [10] авторы в исследовании [11] разработал модель прогнозирования срока службы красок и термопластичных материалов на проезжей части с продолжительностью периода эксплуатации 18,8 мес. Срок службы термопластиков колеблется от 7,8 до 40,6 мес. Полученная модель показана в выражении (1), а коэффициент световозвращения разметки моделируется как функция времени:

$$T_{100} = 10^{\frac{R_0 - 100}{b}} \quad (1)$$

где  $T_{100}$  – период времени в месяцах до достижения удельного коэффициента световозвращения 100 мкд/лк/м<sup>2</sup>;  $R_0$  – расчетное начальное световозвращение (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $b$  – полулогарфический градиент световозвращения.

Авторы в работе [12] провели исследование, целью которого было установить скорость деградации для наиболее часто используемых материалов для разметки на дороге в штате Колорадо. Это краски, термопластики и полимерные ленты. Деградация этих материалов моделируется линейно с исключительно небольшим коэффициентом корреляции ( $R^2$ ) между 0,14 и 0,18. В заключение было установлено, что среднее падение световозвращения всех материалов – 0,14% в сутки, и краски на водной основе – это самый экономичный вариант разметки на проезжей части. Полученные модели приведены в выражениях (2), (3), (4), (5):

Краска:

$$Y = -0,4035 \times X + 279,42 \quad (2)$$

Термопластики:

$$Y = -0,3622 \times X + 254,82 \quad (3)$$

$$Y = -0,3564 \times X + 256,53 \quad (4)$$

$$Y = -0,6101 \times X + 313,61 \quad (5)$$

где  $Y$  – коэффициент световозвращения разметки (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $X$  – срок эксплуатации, дн.

В исследовании [13] обобщены результаты четырехлетних исследований, связанных с прогнозированием продолжительности срока службы разметки из различных материалов. Продолжительность срока службы каждого материала варьировалась в зависимости от географических условий движения, в которых находилась дорожная разметка, средняя продолжительность которой в месяцах, следующая: краска на водной и эпоксидной основе – 10,4 и 23,0 мес. соответственно; термопластики – 26,2 мес; полимерные материалы – 24,7 мес.

Коэффициенты световозвращения определяются количественно на основе совокупного количества транспортных проездов, как соотношение между переменными совокупного количества проездов и начального световозвращения с использованием различных линейных и экспоненциальных моделей. Общие формы модели приведены в выражениях (6), (7).

Линейная модель:

$$RL = a + (b \times n) \quad (6)$$

$$RL = a^{(b \times n)} \quad (7)$$

где  $RL$  – коэффициент световозвращения разметки (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $a$  – начальное значение световозвращения (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $n$  – совокупное количество проездов;  $b$  – численный коэффициент  $n$ .

Анализ долговечности красок и термопластиков был проведен авторами в исследовании в 2002 г. [14]. Используя коэффициент световозвращения, равный 150 мкд/лк /м<sup>2</sup> в качестве минимально допустимого уровня, авторы разработали логарифмические модели для прогнозирования продолжительности срока службы дорожной разметки на проезжей части в зависимости от объема движения. Коэффициенты корреляция ( $R^2$ ) модели находятся в диапазоне от 0,31 (для красок) до 0,58 (для термопластиков).

Анализ плоских и профилированных разметок из термопластичных материалов на проезжей части проводился в исследовании [15]. Цель

исследования заключалась в сравнении влияния вышеупомянутых факторов на продолжительность службы разметки, затрат на обслуживание, влияния на безопасность и видимость во влажных условиях. Результаты исследований показали, что общее число проездов имеет большую корреляцию с коэффициентом светоотражения, чем со сроком эксплуатации разметки.

В исследовании [16] авторы разработали две модели для эпоксидных и термопластичных материалов, белого и желтого, для асфальтового и бетонного покрытия. Первая модель нелинейная, авторы прогнозировали величину световозвращения разметок через короткий промежуток времени после нанесения, в котором световозвращение немного растёт. Вторая модель является линейной и представляет деградацию световозвращения в течение более длительного срока службы дорожной разметки. Факторы, которые могут повлиять на деградацию световозвращения или длительность срока службы разметки, проанализированные в этом исследовании были: цвет и тип материала разметки, тип дорожного покрытия и среднегодовая суточная интенсивность движения. Из этих переменных только среднегодовая суточная интенсивность движения оказалась статистически несущественной переменной. Корреляционная зависимость между переменными в моделях варьируется от 0,19 до 0,78 в зависимости от сочетания материалов, цвета и дорожных покрытий. Средний коэффициент корреляции первой нелинейной модели равен 0,46, а в другой линейной модели – 0,30.

Первая модель для прогнозирования продолжительности срока службы дорожной разметки на проезжей части, включая фактор мероприятий по зимнему содержанию, разработана в исследовании [17]. Результаты исследования показали, как каждый вид мероприятий по зимнему содержанию снижает коэффициент световозвращения  $RL$  на  $3,22$  мкд/лк/м<sup>2</sup>, что в целом сокращает продолжительность срока службы более чем на месяц. Кроме того, интенсивность движения была, хотя и слабая, имела статистически значимое влияние на деградацию светотехнических характеристик разметки на проезжей части.

В исследовании [18] авторы разработали модели прогнозирования сроков службы разметки из водно-эпоксидных красителей, полимочевины и термопластиков. Разметка для исследования принималась как продольная, так и поперечная. Исследование привело к экспоненциальной модели (8), прогнозирующей продолжительность срока службы разметки для каждого типа материала, в котором световозвращение имеет функцию времени и типа материала покрытия:

$$\frac{L_t}{L_0} = \exp\left(b_0 + b_1 \times \frac{T_0}{T_t} + b_2 \times t\right) \quad (8)$$

где  $L_t$  – световозвращение продольной разметки в момент времени  $t$  (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $L_0$  – начальное световозвращение продольной разметки на проезжей части (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $T_t$  – световозвращение поперечной разметки на проезжей части в момент времени  $t$  (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $T_0$  – начальное световозвращение продольной разметки на проезжей части (мкд/лк/м<sup>2</sup>);  $t$  – возраст разметки (дни);  $b_0, b_1, b_2$  – модельные коэффициенты.

Хотя точность ( $R^2$ ) модели удовлетворительная, варьируется от 0,6411 до 0,9845 в зависимости от типа материала и типа материала покрытия, недостаток исследований состоит в ограниченном числе факторов, которые были учтены в модели. Поскольку исследование проводилось на двух подготовленных для этих целей тестовых полигонах, модель включает только продолжительность периода эксплуатации разметки, тип материала и тип дорожного покрытия, поэтому практическое применение модели сомнительно и ограничено. Из подробного анализа предыдущих исследований, связанных с прогнозированием продолжительности срока службы в зависимости от типа дорожного полотна, следует, что большинство вышеперечисленных моделей имеют относительно низкие коэффициенты детерминации ( $R^2$ ), это означает, что ошибки модели высоки. Даже модели с высоким коэффициентом  $R^2$ , как в исследованиях [17, 19], или имеют статистически значимые недостатки, или не позволяют моделировать продолжительность самых используемых материалов, применяемых для нанесения разметки на проезжей части. Также предыдущие модели не принимают во внимание все факторы, влияющие на деградацию световозвращения, из чего можно сделать вывод, что текущее исследование имеет недостатки, которые ограничивают его применение при обслуживании автомобильных дорог.

### Библиографический список

1. Степанова, А. В. Дорожная разметка, как один из факторов оптимизации дорожного движения / А. В. Степанова, А. А. Макаева // Новая наука: проблемы и перспективы: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. – Прага: Научно-издательский центр "Мир науки", 2019. – С. 38-42.
2. Свежинский, В. Н. Дорожная разметка в процессе эксплуатации / В. Н. Свежинский // Мир дорог. – 2020. – № 132. – С. 78-80.
3. Барлит, О. Б. Дорожная разметка как главный фактор обеспечения безопасности дорожного движения / О. Б. Барлит, С. Г. Артемова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых

исследователей. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 24-25.

4. Абсалямов, И. Р. Дорожная разметка из термопластика с применением стекло-шариков / И. Р. Абсалямов // Студенческий вестник. – 2022. – № 6-3(198). – С. 60-61.

5. Бочкарев, В. И. Изменение светотехнических параметров горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации / В. И. Бочкарев, Е. В. Жустарева, М. Г. Горячев // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10, № 3. – DOI 10.15862/06SATS323.

6. Abboud, N. Cost and Longevity-based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping / N. Abboud, B. Bowman // Journal of the Transportation Research Board. – 2002. – P. 55–62. DOI:10.3141/1794-07/

7. Andrady, A. L. Pavement Marking Materials: Assessing Environment-friendly Performance / L.A. Andrady // National Academy of Science. – 1997.

8. Grosjes, T. Retro-reflection of Glass Beads for Traffic Road Stripe Paint / T. Grosjes // Optical Materials. – 2008. – Vol. 30(10). – P. 1549-1554.

9. Hummer, J.E. Linear Mixed-Effects Models for Paint Pavement-Marking Retroreflectivity Data / J.E. Hummer; W. Rasdorf, G. Zhang // Journal of Transportation Engineering. – 2011. – Vol. 137 (10). – P. 705-716.

10. Lee, J. T. Pavement Marking Material Evaluation Study in Michigan / J.T. Lee, T.L. Maleck, W.C. Taylor // Journal of Institute of Transportation Engineers. – 1999. – Vol. 69 (7). – P. 48-51.

11. Lindly, J. K. Evaluation of Profiled Pavement Markings. / J.K. Lindly; R.K. Wijesundera // University Transportation Center for Alabama. Tuscaloosa. SAD. – 2003.

12. Migletz, J. Service Life of Durable Pavement Markings / J. Migletz, J.L. Graham, D.W. Harwood, K.M. Bauer // Journal of Transportation Research Board. – 2001. – Vol. 1749. – P. 13-21.

13. Mull, D. M. Paint Pavement Marking Performance Prediction Model / D.M. Mull, W.E. Sitzabee // Journal of Transportation Engineering. – 2012. – Vol. 138 (5). – P. 618-624.

14. Perrin, J. A. Comparative Analysis of Pavement Marking Materials / J.A. Perrin, P. Martin, B. Hansen // Transportation Research Board Annual Conference. – 1998.

15. Pike, A. M. Predicting Pavement Marking Service Life Using Transverse Test Deck Data / A.M. Pike; P. Songchitruksa. Journal of the Transportation Research Board. – 2015. – Vol. 2482 (2582). – P. 16-22.

16. Sarasua, W. A. Evaluation of Interstate Pavement Marking Retroreflectivity. / W.A. Sarasua, D.B. Clarke, W.J. Davis // Clemson University. South Carolina. SAD. – 2003.

17. Shahata, K. Condition Rating Models for Sustainable Pavement Marking. / K. Shahata, H. Fares, T. Zayed, A. Abdelrahman, F. Chughtai // Transport Research Board 87th Annual Meeting Compendium of Papers DVD. Washington DC. SAD. – 2008. – P. 8-18.

18. Sitzabee, W. E. Pavement Marking Degradation Modeling and Analysis / W.E. Sitzabee, J.E. Hummer, W. Rasdorf, F. Asce // Journal of Infrastructure Systems. – 2009. – Vol. 15 (3). – P. 190-199.

19. Zhang, G. H. Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity / G.H. Zhang, J.E. Hummer, W. Rasdorf // Journal of Transportation Engineering. – 2010. – Vol. 136 (8). – P. 773-781.

## **ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОВАКУУМИРОВАННОГО НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ГУСИНООЗЕРСКОЙ ЗОЛЫ-УНОСА**

**Марушко М.В., ст. преп.,**

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

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

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

Широкое применение в различных областях современного строительства нашли ячеистый бетон неавтоклавного твердения и конструкционно-теплоизоляционные изделия на его основе, что обеспечено специфическими особенностями его пористой структуры и, соответственно, многообразием функциональных назначений. Ячеистый бетон неавтоклавного твердения является строительным материалом, сочетающим в себе высокие прочностные и теплоизоляционные свойства, что существенно влияет на энергосбережение и повышает технико-экономические показатели, потребительские качества и комфортабельность гражданских зданий [1-5].

Ключевым этапом в технологии производства ячеистого бетона является стадия формирования пористой структуры – поризации, в результате которой возникает ячеистая структура бетона. При этом важными факторами становятся качество и целостность образующейся структуры, определяющие физико-механические характеристики и эксплуатационные показатели ячеистобетонных изделий.

Авторами разработан новый термовакuumированный способ формирования пористой структуры неавтоклавного ячеистого бетона.

Изобретение направлено на создание ячеистобетонных изделий с высокими физико-механическими характеристиками, меньшими усадочными деформациями и равномерной пористой структурой, при изготовлении которых расходуется минимальное количество энергоресурсов. Это достигается тем, что способ изготовления ячеистобетонных изделий включает приготовление смеси, укладку ее в форму и вакуумирование, во время которого осуществляется вибрирование, до момента фиксации образовавшейся структуры. При этом задаются определенные параметры температуры для формы, для воды затворения и в целом для процесса вакуумирования.

Авторами проведены исследования для изучения влияния водотвердого отношения (В/Т), количества воздухововлекающей добавки и величины вакуума на среднюю плотность и прочность термовакuumированного неавтоклавного ячеистого бетона на основе гусинозерской золы-уноса. Опыты проводились с предварительно подобранными сырьевыми компонентами. На основе проведенных опытов, которые способствовали оптимизации состава материала и технологии его получения, был поставлен трехфакторный эксперимент с изучением влияния В/Т, количества добавки и величины вакуума на среднюю плотность и прочность термовакuumированного неавтоклавного ячеистого бетона на основе гусинозерской золы-уноса [6-9].

Технологические параметры производства термовакuumированного ячеистого бетона и его физико-механические свойства получены с использованием математического аппарата. Варьировали основные факторы: водотвердое соотношение В/Т ( $X_1$ ) в пределах от 0,35 до 0,45 с интервалом варьирования 0,05; расход воздухововлекающей добавки Полипласт Аэро 815 ( $X_2$ ) от 0 до 0,5 % от массы цемента с интервалом варьирования 0,25; величину вакуума ( $X_3$ ) от 0,075 до 0,095 МПа с интервалом варьирования 0,01. Факторы, не вошедшие в план эксперимента, приняты постоянными, в том числе температура формовочной смеси  $t_{см} = \text{const} = 41^\circ\text{C}$ .

В лабораторных условиях была заформована серия ячеистобетонных образцов размерами  $10 \times 10 \times 10$  см. Образцы выдерживали в нормальных условиях твердения в течение 28 суток, по истечении которых определены их физико-механические показатели.

Разрабатывалась матрица трехуровневого плана с применением экспериментальных данных термовакuumированного неавтоклавного ячеистого бетона на основе гусинозерской золы-уноса. Для получения математических моделей, отражающих связь между выходными параметрами (средней плотностью и прочностью на сжатие) и основными факторами, проводился статистический анализ экспериментальных

данных в компьютерных программах, целью которого является оценка значимости коэффициентов уравнений и проверка адекватности уравнений. В ходе обработки данных были получены коэффициенты уравнений регрессии.

Математические модели средней плотности (1) и прочности на сжатие (2) термоваккумированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения в зависимости от наполнителя представлены ниже:

$$\rho_{cp} = 591,68 - 53,9 \cdot X_1 - 91,1 \cdot X_2 - 134,4 \cdot X_3 + 38,32 \cdot X_1^2 + 50,32 \cdot X_2^2 + 31,82 \cdot X_3^2 + 10,38 \cdot X_1 \cdot X_2 + 15,38 \cdot X_1 \cdot X_3 + 17,88 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

$$R_{сж} = 4,28 - 0,12 \cdot X_1 - 0,68 \cdot X_2 - 1,14 \cdot X_3 - 0,07 \cdot X_1^2 - 0,17 \cdot X_2^2 - 0,17 \cdot X_3^2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,18 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

Оценка адекватности приведенных уравнений проводилась по критерию Фишера. Согласно полученным уравнениям регрессии, произведен анализ влияния исследуемых факторов на выходные параметры. Построены зависимости прочности на сжатие и средней плотности термоваккумированного неавтоклавного ячеистого бетона от В/Т, количества воздуховвлекающей добавки и величины вакуума (рис. 1-3).

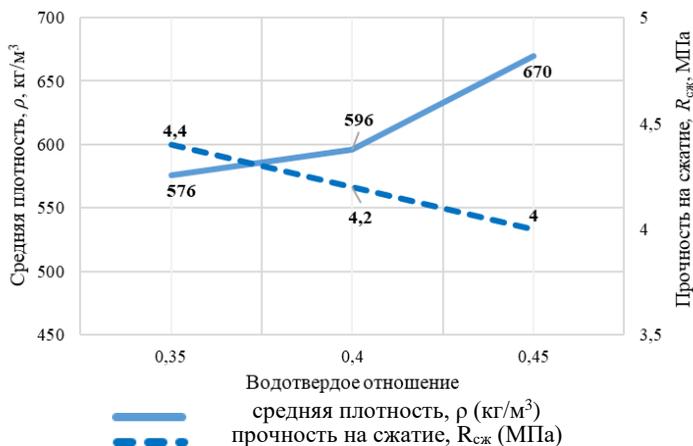


Рис. 1. Зависимости средней плотности ( $\rho$ ) и прочности на сжатие ( $R$ ) термоваккумированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения от водотвердого отношения

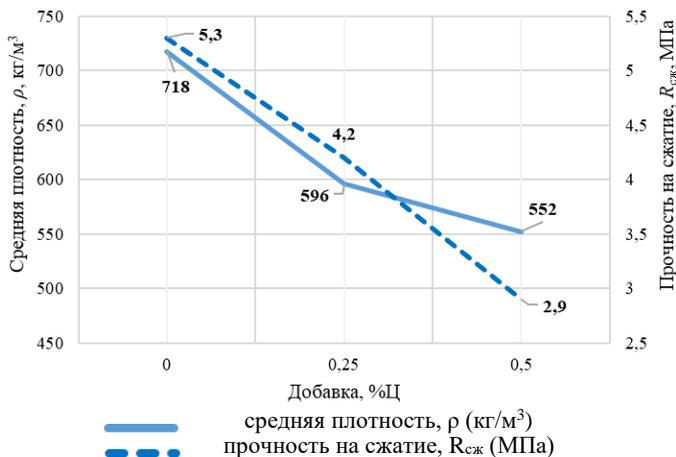


Рис. 2. Зависимости средней плотности ( $\rho$ ) и прочности на сжатие ( $R$ ) термовакuumированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения от добавки

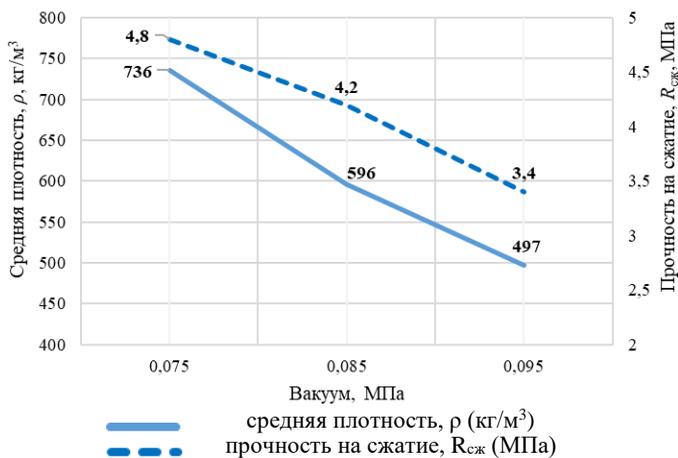


Рис. 3. Зависимости средней плотности ( $\rho$ ) и прочности на сжатие ( $R$ ) термовакuumированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения от величины вакуума

Полученные математические модели средней плотности и прочности термовакuumированного ячеистого бетона использовались для анализа влияния различных технологических факторов на выходные параметры, оптимизации состава формовочной смеси, построения номограмм, взаимоувязывающие выходные параметры

получаемого материала и все существенно влияющие на них технологические факторы и позволяющие корректировать состав ячеистого бетона неавтоклавного твердения и режим термовакuumирования с целью обеспечения заданных параметров.

### **Библиографический список**

1. Марушко М.В., Погорелова И.А., Сулейманова Л.А. Структура неавтоклавного ячеистого бетона на основе дисперсных систем // Сборник трудов I международной научно-практической конференции «Архитектура. Строительство. Информационные технологии - 2023». Новороссийск. 2023. С. 23-26.

2. Марушко, М.В. Вибровакуумированные пористые композиты / М.В. Марушко, В.А. Белогуров // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 405-408.

3. Сулейманова, Л.А., М.В. Марушко Оптимизация формирования структур в технологии газобетона на основе дисперсных систем // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 341-347.

4. Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Марушко М.В., Сулейманов К.А. Оценка водостойкости основных строительных материалов для стеновых ограждений // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. Белгород, 2020. С. 397-403.

5. Амелин П.А., Марушко М.В., Рябчевский И.С. Методики пространственного моделирования поробетона // В сборнике: XII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство». Материалы форума. Белгород, 2020. С. 715-724.

6. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В. Формирование структуры термовакuumированного ячеистого бетона на основе дисперсных систем / // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. Белгород, 2023. С. 229-234.

7. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Theoretical basis of formation highly organized porous structure of aerated concrete // Materials Science Forum. 2018. Vol. 945. Pp. 309-317. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.309.

8. 5. Suleymanova L.A., Marushko M.V., Kolomatsky A.S. Processing methods used to create high-quality porous structure of aerated concrete // Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. Pp. 212-217. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.212.

9. Марушко М.В., Погорелова И.А., Сулейманова Л.А. Исследование влияния рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики термоваккумированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 6.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА В СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

**Мотко В.О., студент,**

**Когай А.Д., аспирант,**

**Дмитриева М.А., д-р физ.-мат. наук, проф.**

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта,  
г. Калининград, Россия*

Современное строительство сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения энергоэффективности и устойчивости материалов к внешним воздействиям, снижением экологической нагрузки и повышением экономической целесообразности. В этой связи торф, как природный ресурс, становится ключевым элементом в разработке новых строительных технологий. В данной статье рассматриваются перспективы применения торфа, торфяных добавок и золы торфа в строительной индустрии, а также их влияние на свойства бетона.

Торф представляет собой органический материал, образованный в результате разложения растительных остатков в условиях избыточной влажности и ограниченного доступа воздуха. Состав органического торфа формируют несколько групп химических соединений [1]. Первая состоит из растворимых в органических растворителях веществ: жиров, смол, восков и парафинов, включая битумы. Вторая группа состоит из веществ, извлекаемых из торфа горячей водой, и соединений, растворяющихся в воде после гидролиза в присутствии минеральных кислот (целлюлоза). Третья группа представляется негидролизруемыми веществами по типу лигнина. Последняя группа формируется гуминовыми веществами, извлекаемыми из торфа раствором щелочи. В свою очередь гуминовые вещества в зависимости от типа реакции с щелочью подразделяются на гуминовые и фульвокислоты.

Содержание тех или иных веществ определяет свойства торфа. Битумы обладают гидрофобностью, следовательно, придают водоотталкивающие свойства материалу. Лигнин является поверхностно-

активным веществом и может придавать торфу свойства, характерные для пластифицирующих добавок [2]. Гуминовые вещества, образующие соли (гуматы натрия), придают водоудерживающие свойства и увеличивают подвижность бетонной смеси [3, 4]. В результате торф представляется материалом с актуальными свойствами для создания эффективных бетонов, к которым помимо прочего можно отнести низкую теплопроводность, биостойкость и высокую пористость [5]. Эти характеристики делают торф привлекательным для использования в строительных материалах, особенно в теплоизоляционных и конструкционных композициях.

Исследователи из ТГАСУ предложили методику создания теплоизоляционного торфосодержащего материала, пористый каркас которого составляли опилки и стружка, прочно связанные клеем с содержанием торфа. Торф подвергался механохимической активации в шаровой мельнице, наполненной водой, после чего полученная суспензия добавлялась к каркасообразующим компонентам. Было выявлено, что эффективность полученного клея зависит от водосодержания торфяной суспензии и времени обработки. Наибольшая удельная поверхность частиц была достигнута при времени измельчения 1 ч [6].

Исследования показали, что торф может быть использован также в качестве пластифицирующей и гидрофобной добавки в бетонных смесях. Например, в работе [7] было установлено, что добавление торфа в мелкозернистый бетон позволяет снизить коэффициент теплопроводности на 10-12 % и уменьшить расход цемента на 15 % без потери прочностных характеристик. Однако его горючесть требует дополнительных мер по повышению огнестойкости. Исследования показали, что введение неорганических солей в состав торфосодержащих материалов может повысить их устойчивость к термоокислению.

Рассмотренные выше свойства торфа актуализируют его применение в сфере аддитивных технологий. Были проведены исследования о возможности использования торфа в качестве модификатора для строительных смесей, применяемых в 3D-печати. Торфяные добавки улучшают водоудерживающую способность и подвижность смесей, что особенно важно для аддитивных технологий. Исследования показали, что добавление торфа позволяет снизить усадку материалов и повысить их прочность на ранних стадиях твердения [8].

Еще одним направлением применения торфа в строительстве является использование торфяных зол, образующихся при сжигании торфа. Торфяные золы содержат минеральные компоненты, которые могут быть использованы в качестве активных добавок в бетон.

Ученые из Белорусского национального технического университета исследовали эффективность использования торфяных зол в цементобетоне [9]. Было установлено, что добавление торфяных зол совместно с микрокремнеземом и суперпластификатором позволяет увеличить прочность бетона на сжатие в 1,5-2,5 раза по сравнению с контрольными

образцами. Кроме того, такие бетоны обладают повышенной плотностью, водо- и газонепроницаемостью, что делает их пригодными для использования в мостовых и тоннельных конструкциях [9].

Также была изучена возможность применения золы, образующейся при сжигании торфо-древесных смесей, в качестве одного из компонентов для создания высокопрочного бетона. Эксперименты подтвердили, что использование золы в сочетании с микрокремнеземом и суперпластификатором способствует существенному увеличению прочности бетонных конструкций, уменьшению их пористости и повышению гидравлической активности. Такой подход позволяет расширить ресурсную базу для строительной отрасли и снизить негативное воздействие на экологию [10].

Одним из перспективных методов улучшения свойств торфа является его термическая модификация.

Термообработка торфа при температурах от 200 до 600 °С приводит к изменению его химического состава и структуры, что позволяет получить органо-минеральные и минеральные комплексы, обладающие высокой активностью. В работах [11,12] было выявлено, что при различных температурных диапазонах обработки наблюдаются изменения свойств и состава торфа. Эффективность режима активации оценивалась по результатам прочностных испытаний модифицированных бетонных образцов в возрасте образцов 28 суток, при этом отмечалась особая важность способа добавления полученного модифицированного компонента. В результате было продемонстрировано, что наиболее пригодный температурный диапазон должен составлять 600-800°С, полученные добавки при данном режиме с правильным способом введения способствуют созданию более прочной структуры цементного камня, что подтверждают испытания прочности на сжатие.

Термомодифицированная торфяная добавка также показывает положительный результат при модифицировании пенобетона неавтоклавного твердения. Добавка способствовала формированию однородной мелкопористой структуры, что привело к снижению теплопроводности и повышению морозостойкости материала, также, были получены результаты об улучшении адгезионного свойства цементно-песчаной матрицы и повышении прочности пенобетона [13].

В БФУ им. И. Канта проводились исследования термомодифицированной торфяной добавки, полученной из низинного торфа Калининградской области [14]. Добавка изготавливалась путем термической обработки сырья при 600 °С с ограниченным доступом кислорода. Результаты показали, что использование 4 и 8 % добавки способствует увеличению подвижности и водоудерживающей способности бетонных смесей, а также повышению прочности на изгиб и сжатие.

Термическая обработка также позволяет производить синтез

наноуглерода из торфа. Обработка торфа при температуре 500–600 °С приводит к образованию нанотрубок, фуллеренов и наноагрегатов, которые могут быть использованы в качестве модификаторов цементных систем. В работе Ю.С. Саркисова [15] было показано, что добавление наноуглерода, полученного из торфа, в цементные смеси увеличивает прочность на сжатие на 13,5–40 % в зависимости от концентрации добавки. Оптимальное содержание наноуглерода составляет 0,5 % от массы цемента.

Торфяные добавки представляют собой эффективное средство для улучшения свойств строительных материалов. Их использование позволяет не только повысить прочность и устойчивость бетона, но и снизить его теплопроводность и экологическую нагрузку. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать разработке новых технологий и материалов, которые позволяют более эффективно использовать торфяные ресурсы в строительстве.

### **Библиографический список**

1. Раковский В.Е. Общая химическая технология торфа. – М.: Л., 1949. – 363 с.
2. Базин Е.Т. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов [и др.] // под общ. ред. Е.Т. Базина. – М.: Недра, 1992. – 430 с.
3. Лиштван И.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И.И.Лиштван. – Минск: Наука и техника. – 1985. – 239 с.
4. Базин, Е.Т. Физика и химия торфа: Водно-физические и структурно механические свойства торфа и торфяных залежей / Е.Т. Базин, В.И.Косов. – Калинин: КГУ, 1982. – 104 с.
5. Дегтярев К.С. Торф – недооцененный ресурс России / К.С. Дегтярев // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2016. – № 3(171). – С. 44–51.
6. Копаница Н.О. Исследования вяжущих свойств низинных торфов при производстве теплоизоляционных материалов / Н.О. Копаница, М.А. Калашникова // Вестник ТГАСУ. – 2007. – №1. – С. 210–216.
7. Косач А.Ф. Свойства бетона на основе модифицируемого высокодисперсного торфа / А.Ф. Косач, И.Н. Кузнецова, А.Б. Демидова, Ю.В. Березкина // Вестник СибАДИ. – 2015. – Вып. 1 (41). – С. 119–127.
8. Дожделев А.М. Использование торфа в 3D печати / А.М. Дожделев, А.Ю. Лаврентьев, А.А. Степачева // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2020. – Вып. 9–2 (48). – С. 102–104.
9. Ляхевич Г. Д. Технология и эффективность использования торфяных зол в цементобетоне / Г. Д. Ляхевич, А. Г. Ляхевич, Д. В. Ортнер // Наука и техника. – 2015. – №2. – С. 16–23.

10. Ляхевич Г.Д. Использование золы от сжигания торфо-древесного и торфяного топлива в качестве компонента высокопрочного бетона / Г.Д. Ляхевич, И.И. Лиштван, А.Г. Ляхевич, В.А. Гречухин, В.М. Дударчик, В.М. Крайко // Природопользование. Институт природопользования НАН Беларуси. – 2018. – №2. – С.119–127.

11. Копаница Н.О. Влияние термомодифицированного торфа на свойства цементных систем / Н.О. Копаница [и др.] // Сухие строительные смеси. 2012. – №1. – С.30–31.

12. Демьяненко О.В. Исследование свойств цементного камня с комплексной добавкой / О.В. Демьяненко [и др.] // Вестник ТГАСУ. – 2020. – Т. 22. – №4. – С. 147–156.

13. Прищепа И.А. Модифицирование неавтоклавного пенобетона торфяной добавкой ТМТ600 / И.А. Прищепа, А.В. Мостовщиков, Ю.С. Саркисов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 177–186.

14. Дмитриева М.А. Термомодифицированная торфяная добавка для цементных систем из сырья Калининградской области / М.А. Дмитриева, В.В. Когай, В.Н. Лейцин, А.Д. Панфилова, А.В. Пузатова, С.Р. Сокольников // Строительство: наука и образование. – 2022. – Т. 12. – Вып. 4. – С. 64–74.

15. Саркисов Ю.С. О некоторых аспектах применения наноматериала и нанотехнологий в строительстве / Ю.С. Саркисов, Н.О. Копаница, А.В. Касаткина // Вестник ТГАСУ. – 2012. – №4. – С. 226-234.

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИЭФИРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Овчинников Е.В., д-р техн. наук, доц.,**

**Лях О.В., магистрант,**

**Серко Е.В., аспирант,**

**Миклашевич А.П., преп.**

*Гродненский государственный университет  
им. Янки Купалы, г.Гродно, Беларусь*

Порошковое покрытие – это тип покрытия на основе порошка, не содержащий растворителей, обычно используемый для покрытия металлов для широкого спектра применений, например, при производстве специализированной техники строительного назначения: погрузчики, экскаваторы, асфальтоукладчики, бетономешалки и т.п. Внешний вид поверхности формируемых покрытий можно изменять путем введения модификаторов добавок в порошки исходных красок.

Порошковые покрытия имеют следующие преимущества перед покрытиями, получаемыми из жидкой фазы: простота нанесения; высокая производительность при электростатическом распылении; экологичность, поскольку не содержатся органические растворители; более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с покрытиями, сформированными по растворной технологии. В зарубежной литературе встречается термин для порошковых покрытий известный как «четыре E» («Four E's») – excellence of finish, economy and energy, standing for ecology), что означает превосходство отделки, экономичность и энергосбережение, экологичность [1-8].

Данные характеристики позволяют применять порошковые полимерные реактопластичные покрытия в самых разных областях производства, т. е. в строительной, автомобильной, архитектурной, электронной и деревоперерабатывающей промышленности [1, 4, 7]. Порошковое покрытие состоит из смолы, катализатора, сшивающего агента, пигментов и добавок, таких как модификаторы текучести и дегазирующие агенты, которые определяют свойства конечного порошкового покрытия, включая внешний вид поверхности, получаемого защитного слоя (глянцевую или матовую). Глянцевые покрытия отражают весь падающий свет подобно отражению света в зеркале, тогда как матовое покрытие рассеивает часть света, уменьшая уровень блеска. Разница в блеске или матовости зависит от текстуры поверхности, в зависимости от гладкости или шероховатости поверхностного слоя. Для некоторых деталей или изделий строительного назначения требуются глянцевые покрытия, в то время как для автотракторной техники предпочтительнее матовая краска, чтобы скрыть неровности и повреждения поверхности. Уровень блеска порошкового покрытия можно уменьшить добавлением различного типа дисперсного или наноразмерного модификатора постороннего соединения, такого как неорганические наполнители или реологические добавки, которые могут иметь другую реакционную способность или температуру отверждения, чем исходный полимерный порошок, путем изменения размера частиц порошкового покрытия или влажности окружающей среды, а также варьированием параметров нанесения полимерного порошка во время электрораспыления [4].

Возможен подход, когда в качестве модифицирующего агента изменяющего свойства порошковых красок применяются наноразмерные покрытия оксида алюминия. Для этого наносились сверхтонкие пленки  $Al_2O_3$  на первичные частицы стандартной порошковой краски в условиях окружающей среды, используя прекурсоры в газовой фазе. Оценивалось, как пленки оксида алюминия изменяют текучесть частиц порошкового покрытия выше температуры стеклования, и вызовет ли это повышенную шероховатость поверхностных слоев краски. Пленки оксида алюминия

наносились в реакторе с псевдооживленным слоем с использованием последовательного воздействия прекурсоров на подложку. Данный подход позволил обработать большие объемы частиц порошковых красок [4], обеспечивая при этом хорошее смешивание газа и твердых частиц, что привело к осаждению довольно конформных пленок оксида алюминия на поверхности частиц полимера. В настоящее время широкое распространение в качестве модификаторов получают углеродные наночастицы, в частности, ультрадисперсные алмазы (УДА), ультрадисперсный алмазосодержащий графит (УДАГ). Данные частицы позволяют получить нанокпозиционные материалы и покрытия с уникальными характеристиками [2, 7, 8]. УДА и УДАГ сохраняют свои исходные параметры в процессе воздействия внешних факторов и не изменяют фазового состава композита, другие, подобно наночастицам металлов и оксидов, способны к фазовым превращениям, что приводит к изменению первоначальной фазовой структуры композита и, соответственно, их служебных характеристик.

Целью исследований являлось изучение физико-механических характеристик реактопластичных полимерных покрытий, модифицированных наноразмерными углеродными частицами, получаемыми по взрывной технологии с отрицательным кислородным балансом.

В качестве базового материала для модифицирования использовали полиэфирную смолу марки ZVEZDALIT P RAL 9005 производства Helios Srbija a.d. Для модифицирования полиэфирной матрицы использовали углеродные частицы, получаемые по бризантной технологии марки ША-Б, производства ЗАО «Синта». Концентрация данного модификатора в композиции составляла от 0,3 мас. % до 1,3 мас. %. Введение наноразмерных частиц в полимерный порошок осуществляли на быстроходном смесителе, время перемешивания составляло 1-2 мин. Нанесение покрытий осуществляли на стандартной установке для электростатического нанесения полимерных порошковых материалов. Температура полимеризации композиции составляла 180 °С, время термообработки 15 мин. В качестве подложки, на которой формировали покрытия, использовали низкоуглеродистую аустенитного класса сталь типа 12X18H10T. Проводили определение твердости сформированных покрытий по методу Шору D согласно стандарта DIN 53505. Значения удельной поверхностной энергии получаемых определяли методом краевого угла смачивания на специализированном оборудовании. Износостойкость нанокпозиционных покрытий на полиэфирных смолах оценивали по ГОСТ 20811-75.

В основе ходе проведенных исследований установлено, что введение нанодисперсного модификатора позволяет увеличить твердость базового полиэфирного покрытия с 90 до 95 единиц по Шору D (рис. 1-3).

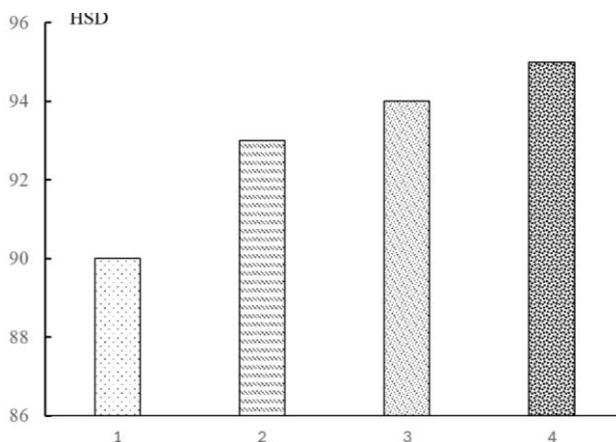


Рис. 1. Твердость по Шору (шкала D) реактопластичных покрытий, модифицированных нанодисперсными алмазосодержащими частицами ША-Б: 1 – исходное покрытие; 2 – концентрация модификатора 0,1 мас. %; 3 – концентрация модификатора 0,5 мас. %; 4 – концентрация модификатора 1 мас. %

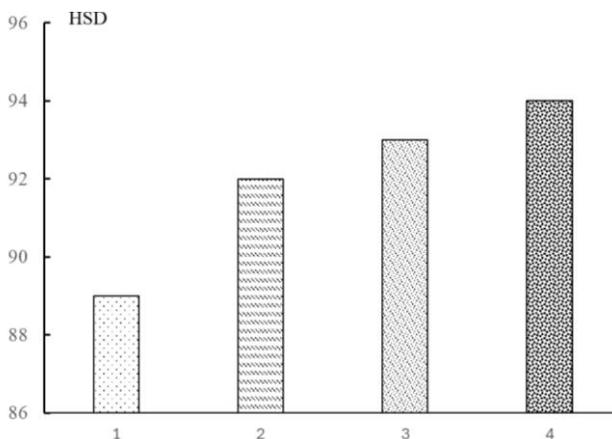


Рис. 2. Твердость по Шору (шкала D) реактопластичных покрытий, модифицированных нанодисперсными алмазосодержащими частицами ША-Б после трибойиспытаний: 1 – исходное покрытие; 2 – концентрация модификатора 0,1 мас. %; 3 – концентрация модификатора 0,5 мас. %; 4 – концентрация модификатора 1 мас. %

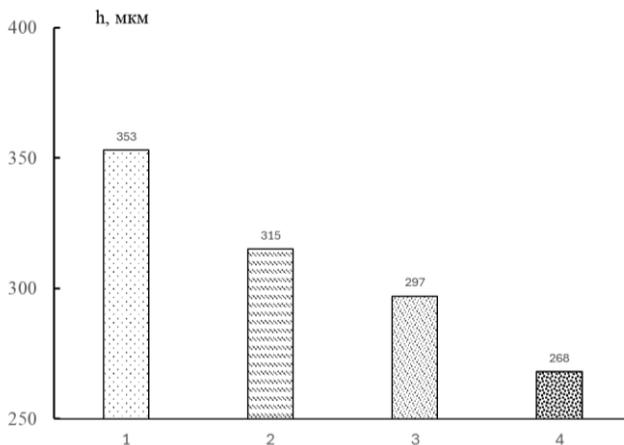


Рис. 3. Толщина реактопластичных покрытий, модифицированных нанодисперсными алмазосодержащими частицами ША-Б: 1 – исходное покрытие; 2 – концентрация модификатора 0,1 мас. %; 3 – концентрация модификатора 0,5 мас. %; 4 – концентрация модификатора 1 мас. %

Возрастание твердости покрытий должно приводить к увеличению износостойкости, что подтверждается проведенными триботехническими испытаниями нанокomпозиционных покрытий (рис. 4).

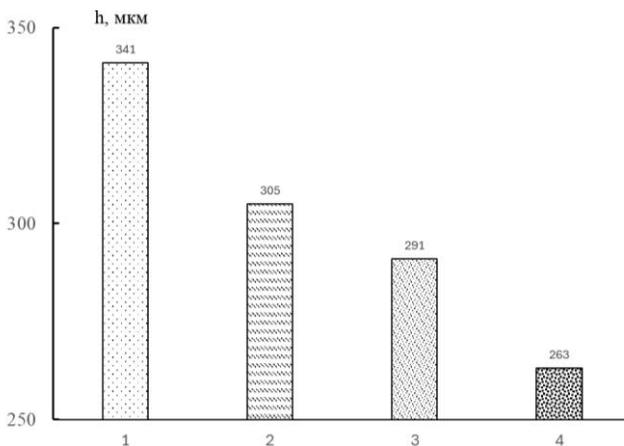


Рис. 4. Толщина реактопластичных покрытий, модифицированных нанодисперсными алмазосодержащими частицами ША-Б после трибоиспытаний: 1 – исходное покрытие; 2 – концентрация модификатора 0,1 мас. %; 3 – концентрация модификатора 0,5 мас. %; 4 – концентрация модификатора 1 мас. %

Установлено, что модифицирующий эффект применения наномодификатора в наибольшей степени проявляется при концентрации в полимерной матрице углеродных частиц ~ 0,5-1,0 мас. %. Проведенные исследования по определению значений удельной поверхностной энергии покрытий на основе полиэфирных смол, модифицированных углеродными частицами, получаемыми по бризантной технологии, показали, что происходит существенное изменение значений удельной поверхностной энергии с увеличением концентрации модификатора.

### **Библиографический список**

1. E. Spyrou, Powder Coatings Chemistry and Technology, Vincentz Network, 2013.
2. Овчинников Е.В. Ресурсосберегающие технологии формирования полимер-олигомерных композиционных покрытий / В книге: Международный симпозиум "Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства" ISCHEM 2015. Тезисы докладов Международного симпозиума. 2015. С. 47-48.
3. Формирования тонкопленочных покрытий при воздействии технологических факторов / Овчинников Е.В. Прогрессивные технологии и системы машиностроения – 2013 - № 2 (45) - С. 197-205.
4. S. S. Lee, J. H. Koo, S. G. Chai, J. C. Lim, Gloss reduction in low temperature curable hybrid powder coatings, Prog. Org. Coat. 46(4) (2003) 266– 2 72.
5. Овчинников Е.В., Эйсымонт Е.И., Возняковский А.А., Маркевич Ю.С., Сластенов П.С. Нанокпозиционные полимерные покрытия с повышенной стойкостью к горению / В книге: Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. материалы международной научно-технической конференции. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». 2017. С. 130-131.
6. Ориентация фторсодержащих олигомеров типа "фолеоке" на поверхности металла и их триботехнические свойства / Овчинников Е.В. Трение и износ – 1994 - Т. 15 - № 6. - С. 1098-1101.
7. Овчинников Е.В., Возняковский А.П., Возняковский А.А., Эйсымонт Е.И. Нанокпозиционные покрытия на основе реактопластичных матриц / в сборнике: Перспективные машиностроительные технологии. сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 339-342.
8. Эйсымонт Е.И., Возняковский А.П., Возняковский А.А., Овчинников Е.В., Овчинников А.Е. Нанокпозиционные фотополимерные покрытия, модифицированные графенсодержащими частицами -- В сборнике: Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Сборник научных трудов. Минск, 2023. С. 305-315.

## ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Овчинников А.Е., студент,  
Свистун А.Ч., канд. физ.-мат. наук, доц.  
*Гродненский государственный университет  
им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь*

Одним из методов повышения эксплуатационных характеристик машин и механизмов строительной техники является применение электроискрового легирования. Установлено, что при нанесение электроискрового легирования происходит многократное уменьшение и предотвращение агрессивных видов износа, таких как абразивный и схватывание [1]. Свойство нанесенного покрытия такое как «живучесть» зависит от развития усталостных процессов [1].

Для повышения эксплуатационных свойств более чем в 2 раза необходимо осуществлять выбор материала электрода, при котором обеспечивается создание на поверхностном слое метастабильных структур способных под воздействием износа к многократным фазовым превращениям. Для поиска такого материала электрода разработан алгоритм, основанный на методе последовательного приближения [1].

Исследованы покрытия после электроискровой обработки образца с помощью титанового сплава в анодной смеси титановых гранул с порошком тантала впервые приготовлены Ti-Ta покрытия толщиной 30,9-39,1 мкм [2]. При обработке привеса катода в течение 10 мин одноотнно возрастал с возрастанием тантала в анодной смеси, а также возрастала концентрация тантала в смеси [2]. Были получены покрытия с плотной структурой без трещин. Также концентрация танталового порошка не должна была превышать 6 об. %, так как энергии разряда не хватает для полного расплавления смеси Ti-Ta, что приводит к образованию пор в покрытии и увеличивает гидрофобность модифицируемой поверхности [2]. Высокая жаростойкость покрытия была обусловлена формированием оксидного слоя TiO<sub>2</sub>, допированного ионами Ta<sup>5+</sup>. Данное покрытие позволяет увеличить жаростойкость титанового сплава в 5,9 раз, увеличить значения микротвердости поверхности от 4,72 до 4,91 ГПа [2].

Коэффициент трения титанового сплава с Ti-Ta покрытиями находится в диапазоне от 0,87 до 0,97. Несмотря на высокие значения коэффициента трения износостойкость танталовых покрытий была в 2,3-3,6 раза выше по сравнению с титановым сплавом благодаря высоким значениям вязкости разрушения [2].

Проведены исследования по изучению суммарного привеса катода и суммарной эрозии анода от времени нанесения ЭИЛ при различных

режимах работы, а именно от частоты и продолжительности при использовании электродов на основе  $V_4C+Cu$  в среде аргона [3]. В результате было получено, что при различных режимах ЭИЛ наблюдался устойчивый рост суммарного привеса катода за весь период легирования, а также на 2 режиме достигнуто наибольшее значение  $19,06 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$  [3]. Металлографические исследования покрытия, сформированного на подложке стали 12X18H8T после ЭИЛ показали, что сформированные слои получаются равномерными, с толщиной покрытий 10-15 мкм [3].

Установлено улучшение физико-механических характеристик поверхностей модифицируемых металлов электроискровым способом. Поверхностный слой представляет собой композит из материала подложки и электрода. Привес на подложке увеличивается за счет переноса массы электрода при повышении энергии разряда [4]. Показано, что значения микротвердости и шероховатости поверхности после обработки оказывают определяющее влияние на величину износостойкости поверхностного слоя. Данный эффект обусловлен тем, что главную роль играет наличие в нанесенном поверхностном слое композиционных материалов на основе соединений карбидов металлов, в том числе и при использовании в качестве обрабатываемого электрода стали 45 [4].

В случае повышения концентрации соединений карбидов в подложке возрастала износостойкость модифицируемых поверхностей. Высокое значение микротвердости полученного покрытия приводило к тому, что в процессе трения материал переносится на образец и возникает эффект взаимного влияния трущихся поверхностей. В этом случае значение отношения массового износа контртела и модифицированного слоя может достигать  $10^2$  при использовании вольфрама и графита в качестве электрода [4]. Предложенный технологический подход позволяет осуществить возможность управления износостойкостью данных электроискровых покрытий [4]. Проведены исследования по изучению особенностей электрохимического и коррозионного поведения чистых металлов и сплавов (сталь, никель, титан), так и электроискровых покрытий из никеля и титана, сформированных на стали в кислых, нейтральных и щелочных средах [5]. Установлено, что при нанесение электроискровых покрытий режимы нанесения, материал электрода, а также материала подложки приводят к уменьшению скорости коррозии в 6,7 раза, в воде – до 210 раз, в 20%-м растворе хлорида натрия – до 160 раз, а в 20%-м растворе едкого натра – до 1,8 раза [5].

Нанесение композиционных покрытий на сталь (титан-никель или никель-титан) привело к резкому снижению скорости коррозии стали в воде и 20% хлориде натрия [5]. Проведены исследования факторов, которые влияли на стойкость деталей и тел вращения к износу. Создана механизированная установка для обработки ЭИЛ цилиндрических

покрытий. Основными элементами механизированной установки являются: установка для наплавки под слоем флюса; установка ЭИЛ; безвибрационный электрододержатель [6]. Результаты показали эффективность использования данного механизированного способа для формирования электроискровых покрытий, а также повышение эффективности нанесения ЭИЛ покрытий при обдуве зоны легирования воздухом при давлении 1,5 МПа [6]. В результате исследований технологии электроискрового нанесения покрытий, легирования и упрочнений без использования защитного газа была подтверждена возможность выбора и регулировки параметров ЭИЛ путем изменения следующих параметров: силы тока; напряжения; емкости конденсаторной батареи [7].

Формирование электроискровых покрытий без подвода защитного газа в зону нанесения покрытий показало, что осаждение твердого сплава на поверхность стали 45 при минимальном напряжении и минимальной силе тока упрочняет поверхность материала неравномерно из-за прилипания электрода к обрабатываемой поверхности, минимальное напряжение ведет к резкому увеличению пористости наносимого покрытия и толщина нанесенного слоя не превышает 0,1 мм [7]. Морфология модифицированной поверхности развитая, рыхлая, со следами оксидов. Число произвольных проходов легирующего электрода, т. е. проходов, при которых происходит увеличение толщины упрочненного слоя, не превышает восьми [7]. Это связано с ростом термических напряжений, обусловленных локальными перепадами температур на границе плакирующего слоя – основа и преимущественно адгезионным характером связи плакирующего слоя с субстратом. Кроме того, твердость плакирующего слоя ниже твердости электрода [7]. Используемые в экспериментах пластины из твердого сплава T15K6 имели твердость 85-90 HRC, а в плакирующем слое этот материал имеет твердость 80-85 HRC [7].

Подача углекислого газа в зону нанесения покрытий позволило при тех же электрических параметрах увеличить число проходов и соответственно число наносимых слоев покрытия до двадцати, в результате чего толщина покрытия увеличилась до 0,3 мм. Данные покрытия характеризуются плотной структурой без наличия оксидов. Получение покрытия такой толщины дают возможность не только упрочнять, но и восстанавливать размеры изношенных деталей машин [7].

Одним из перспективных направлений в создании электроискровых покрытий является использование наноразмерных частиц, вводимых в зону электроискрового легирования [8-14]. Данный подход позволяет существенно увеличить трибологические свойства пар трения субстрат с ЭИЛ покрытием-металл, субстрат с ЭИЛ покрытием-композит (керамика на основе кремния, титана и т.п.).

Таким образом применение электроискровых покрытий является эффективным способом повышения триботехнических, прочностных характеристик различного типа металлов, применяемых при изготовлении изделий и деталей строительной техники.

### **Библиографический список**

огданов А.А., Процив В.В., Пацера С.Т., Дербаба В.А. Алгоритм выбора материала электрода при электроискровом легировании деталей / Вісник ХНАДУ, вип. 88, 2020, т. I – с.113-117.

.А. Бурков, С.В. Николенко, В.О. Крутикова, Н.А. Шельменок. Электроискровое осаждение Ti-Ta покрытий на титановый сплав Ti6Al4V: жаростойкость и трибологические свойства / Физическая мезомеханика 27 3 (2024) 159–168.

омжин В.В., Орлов В.Л., Еремеева Ж.В. электроискровое легирование стали 12Х18Н8Т комбинированным электродом  $V_4C+CU$  / современные материалы, техника и технологии, №1 (46), 2023.

М. Кройтору, С А. Силкин, Н Н. Казак, С Х. Ивашку, В И. Петренко, Г И. Поштару, В И. Юрченко, Е В. Юрченко Физико-механические и трибологические свойства углеродсодержащих поверхностных нанокompозитов, полученных электроискровым легированием // ЭОМ. 2020. №6.

В. Коваль Исследование коррозионного поведения покрытий, полученных на стали при электроискровом легировании ручным вибратором повышенной частоты // ЭОМ. 2021. №1.

азанников, О. В. Исследование механизированного способа электроискрового легирования / О. В. Казанников // Образование и право. – 2020. – № 10. – С. 225-232.

.П. Глушко. Исследование технологии электроискрового нанесения покрытий, легирования и упрочнения / Advanced Engineering Research 2021. Т. 21, № 3. С. 253–259. ISSN 2687–1653.

8. Овчинников Е.В., Волочко А.Т., Овчинников А.Е. Электроискровые углеродные покрытия В сборнике: Актуальные проблемы прочности. Материалы LXVIII международной научной конференции. Посвящается 75-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора Рубаника В.В. Минск, 2024. С. 379-381.

9. Овчинников Е.В., Лунь В.И., Свистун А.Ч., Линник Д.А., Веремейчик А.И., Овчинников А.Е. Антифрикционные электроискровые покрытия для зубчатых передач Горная механика и машиностроение. 2024. № 4. С. 92-99.

10. Овчинников Е.В., Михайлов В., Эйсымонт Е.И., Линник Д.А., Свистун А.Ч., Ивашку С Физико-механические характеристики

электроискровых покрытий, полученных из порошковых материалов. Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2024. Т. 14. № 2. С. 6-17.

11. . Е. В. Овчинников Электроискровые покрытия: структура, свойства, технология формирования – Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – 254 с.

12. . Physical and mechanical characteristics of electrospark coatings / Y. Auchynnikaу [et al.] // Mongolian Journal of Physics. – 2024. – № 6. – С. 50-52.

13. . The use of powder materials of highly hard compounds for the formation of electric spark coatings for various functional purposes / Y. V. Auchynnikaу [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология); экономические науки. – 2024. – № 3 (135). – С. 74-80.

14. Synthesis of Multicomponent Coatings by Electrospark Alloying with Powder Materials / V. Mihailov [et al.] // Coatings. – 2023. – Т. 13. – № 3. – С. 1-14.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕНОБЕТОНА К ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ**

**Пириев Ю.С., ст. преп.,  
Пардаев М.Р., студент,  
Тищенко А.Е., студент**

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

В современных условиях развития строительной отрасли особую актуальность приобретает исследование устойчивости строительных материалов к экстремальным условиям эксплуатации. Пенобетон, как один из перспективных конструкционно-теплоизоляционных материалов, требует детального изучения его поведения в сложных климатических условиях.

Пенобетон представляет собой искусственный каменный материал с равномерно распределенными порами, получаемый в результате твердения смеси из вяжущего материала, воды и пенообразователя. Основными характеристиками материала являются плотность ( $D_{200-D1200}$ ), прочность ( $B_{0,5-B5}$ ), теплопроводность ( $0,08-0,35$  Вт/м·К), удельная эффективная активность (менее 370 Бк/кг) и коэффициент паропроницаемости ( $0,14-0,25$  мг/(м·ч·Па)) [1].

На свойства пенобетона влияют различные факторы: температурный режим, влажностный режим, механические нагрузки, химическое воздействие и биологическое воздействие. В ходе исследований были проведены следующие испытания: определение водопоглощения по массе, исследование морозостойкости, определение деформаций усадки, изучение теплопроводности, анализ прочности при сжатии, исследование влияния экстремальных температур и оценка ударной вязкости.

Полученные данные показали, что при водонасыщении прочность снижается на 15-20 %, теплопроводность увеличивается на 30-40 %, а водопоглощение достигает 15-20 % по массе [2]. При температурных воздействиях установлено, что при нагреве до 200 °С прочность сохраняется на 80-90 %, а при нагреве выше 400 °С начинается деструкция материала. Теплопроводность увеличивается на 25 % при нагреве до 200 °С.

При механических воздействиях зафиксированы следующие показатели: удельная работа разрушения 20-40 кДж/м<sup>2</sup>, предел прочности при сжатии 0,5-5 МПа, модуль упругости 0,4-2,5 ГПа [3]. При нагреве до 200 °С структура материала сохраняется, пористость уменьшается на 10-15 %, а прочностные характеристики снижаются незначительно. При нагреве выше 400°С начинается деструкция цементного камня, происходит разрушение структуры и значительное снижение прочности.

При длительном водонасыщении происходит капиллярный подсос влаги, увеличивается масса материала, снижаются теплоизоляционные свойства и возможно развитие биологических процессов. При ударных нагрузках наблюдается хрупкое разрушение, требуются меры по армированию и важно учитывать особенности монтажа [4].

Стены из пенобетона демонстрируют высокую устойчивость к экстремальным условиям благодаря своим уникальным характеристикам:

1. Огнестойкость:

- полная негорючесть материала;
- способность выдерживать высокие температуры без разрушения;
- отсутствие выделения токсичных веществ при нагреве;
- эффективное замедление распространения пламени;
- сохранение структурной целостности при пожаре.

2. Термостойкость:

- пористая структура обеспечивает низкую теплопроводность;

– высокая морозостойкость благодаря равномерному распределению пор;

– стабильность свойств при резких перепадах температур.

3. Влагоустойчивость:

– закрытые поры препятствуют проникновению влаги;

– возможность использования в регионах с высокой влажностью;

– необходимость дополнительной защиты от прямого воздействия воды.

При монтаже перекрытий в экстремальных условиях рекомендуется усилить теплоизоляционный слой, обеспечивать качественную вентиляцию пространства, устанавливать защитные покрытия и пароизоляцию. Важно также предусматривать вентиляционные зазоры и использовать дополнительные композитные материалы для усиления конструкции [5].

Для повышения устойчивости пенобетона используются различные добавки: суперпластификаторы, гидрофобизаторы, стабилизаторы пены, микроармирующие волокна и комплексные модификаторы. Важными технологическими приемами являются контроль влажности формы, оптимизация времени формования, регулирование температурного режима твердения, контроль влажности окружающей среды и применение автоклавной обработки.

При проектировании конструкций необходимо учитывать климатические характеристики региона, назначение конструкции, условия эксплуатации, требования к теплозащите и особенности монтажа. В процессе монтажных работ рекомендуется использовать специальные клеи, соблюдать температурный режим, обеспечивать защиту от атмосферных осадков, контролировать качество соединений и соблюдать технологию кладки.

Для обеспечения долговечности конструкций из пенобетона требуется эксплуатационная защита, включающая устройство гидроизоляции, организацию вентиляции, защиту от механических повреждений, регулярный контроль состояния и применение защитных покрытий.

Перспективные направления исследований включают разработку новых модификаторов (наномодификаторы, органические добавки, комплексные добавки), совершенствование технологий производства (автоматизация процессов, контроль качества, оптимизация режимов твердения) и создание методов прогнозирования (математическое моделирование, компьютерное проектирование, численные методы расчета).

В заключение следует отметить, что пенобетон демонстрирует удовлетворительную устойчивость к экстремальным условиям при правильном подборе состава и соблюдении технологических требований. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку новых модификаторов, совершенствование технологий производства, создание методов прогнозирования поведения материала и оптимизацию конструктивных решений.

### **Библиографический список**

1. Бондаренко, В.А. Пенобетонные конструкции: свойства и применение. – Москва: Стройиздат, 2018. – 250 с.
2. Гаврилов, А.И. Армирование пенобетона: современные технологии и методы. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2020. – 198 с.
3. Кузнецов, С.В. Композитные материалы в строительстве: характеристики и применение. – Екатеринбург: УралГТУ, 2019. – 320 с.
4. Лебедев, Д.А., Мартыненко, И.В. Применение волоконного армирования в строительных материалах. // Журнал «Строительные технологии». – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 34-45.
5. Донченко О.М., Дегтев И.А., Пириев Ю.С. Конструкции наружных стен гражданских зданий из пенобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. №4. С. 78-84.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА «ЛОТОСА» ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Пшеничных М.А., студент,  
Сивальнева М.Н., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

В настоящее время в материаловедении и нанотехнологиях, особенно в сфере строительства, используются стеновые материалы, которые характеризуются тепло- и звукоизоляцией, легкостью, воздухопроницаемостью, экономичностью и устойчивостью к температурным изменениям, благодаря чему они и нашли широкое применение. Однако наличие развитой системы капилляров и пор формирует пористую структуру данных материалов и может приводить к повышенному водопоглощению. Поэтому именно вопрос защиты для подобных материалов от влажной среды является определяющим,

поскольку он напрямую связан с устойчивостью строительных конструкций, их прочностью и долговечностью в целом.

Процесс поглощения твердыми телами жидкостей, газов и паров называется адсорбцией. В результате протекания данного процесса влага перемещает растворы солей, кристаллизация которых оказывает деструктивное влияние на структуру материала. Так же влажная среда содействует размножению микроорганизмов на поверхности, которые выделяют химические вещества, что, в свою очередь, ускоряет разрушения конструкций.

Например, длительный контакт с влагой оказывает пагубное влияние на сооружения из кирпича и бетона. Дождевая вода, внедряясь в поры материала, при низких температурах внушительно расширяется и может вызвать локальные разрушения. Помимо этого, дождевая вода содержит в своем составе разные вещества: серу, аммиак, фосфор, хлор и другие. Они могут приводить к трещинообразованию и дальнейшему разрушению многих строительных материалов таких, как мрамор, керамический кирпич, бетон и другие.

Решением данной проблемы может являться применение компонентов, обеспечивающих гидрофобность материалов.

Гидрофобность – это особенность молекул химических веществ, заключающаяся в отсутствии у них склонности к взаимодействию с водной средой. Молекулы таких веществ неполярны, и не смешиваются с полярным растворителем, каковым и является вода, но хорошо растворимы в органических растворителях. Существует несколько методов для определения гидрофобности материала [1-3]:

1. Эффект «лотоса» – это явление, при котором вода скатывается с гладкой поверхности, не смачивая ее. Этот феномен наблюдается у листьев и лепестков некоторых растений, таких как лотос, и обусловлен особой структурой их поверхности.

2. Неразрушающий анализ по методу Карстена. В ходе данного анализа осуществляется точное измерение воды, проходящей через единицу площади материала за единицу времени.

3. Способ определения гидрофобности-гидрофильности по теплоте смачивания материала. Данный метод заключается в том, чтобы измерить количество тепла, выделяемого при контакте материала с водой и неполярной органической жидкостью.

4. Способ определения гидрофобности-гидрофильности диэлектрического материала.

5. Метод лежащей капли – с его помощью измеряется краевой угол смачивания.

В данной статье подробнее рассмотрен эффект «лотоса». Впервые данный эффект открыл немецкий ботаник, профессор Боннского университета Вильгельм Бартлотт. Он подметил, что листья лотоса каждый раз после дождя становятся сухими и чистыми. И объяснил данный механизм только в 1970 г. с помощью сканирующего электронного микроскопа [4].

Листья лотоса имеют гидрофобное восковое покрытие и микроскопические неровности, которые в совокупности создают гидрофобный эффект. Вода не может закрепиться на такой поверхности из-за отсутствия точек контакта, что позволяет ей скатываться в капли, а уже при скатывании с листа вода заодно захватывает с собой частицы пыли, тем самым очищая поверхность растения.

Эффект «лотоса» применяют для создания материалов с улучшенными гидрофобными свойствами. Благодаря этому гидрофобные материалы отталкивают воду и другие жидкости, что оказывает положительное воздействие особенно в отрасли строительного материаловедения.

Существуют различные методы гидрофобизации, то есть придания материалу способность отталкивать воду [5, 6]:

1. Одним из самых доступных методов является создание покрытий, обладающих гидрофобными свойствами. Материал подвергается обработке специальными растворами, эмульсиями или парами веществ, таких как фторполимеры, силикон, тефлон и другие. Эти покрытия создают гладкую поверхность, на которой вода не может закрепиться.

2. Создание микро- и наноструктур на поверхности материала с целью предотвращения его смачивания может быть реализовано посредством разнообразных методов, таких как травление, электрохимическая обработка, а также нанесение наноструктурированных покрытий и прочие подходы.

3. Использование материалов, способных к самоочищению. Некоторые материалы обладают уникальным свойством отталкивать загрязнения, что позволяет поддерживать их поверхность в чистоте. Это свойство может быть применено для создания материалов, обладающих водонепроницаемостью.

Материалы с эффектом «лотоса» имеют ряд преимуществ [7]:

1) самоочищение, т.к. в материалах с эффектом «лотоса» вода не задерживается, а скатывается, собирая с собой частички пыли и грязи, это позволяет материалам оставаться чистыми в течении долгого времени;

2) гидрофобные материалы не впитывают воду и другие жидкости с различными примесями, что расширяет область их применения в условиях повышенной влажности;

3) гидрофобные покрытия могут значительно увеличить срок службы материалов, защищая их от износа и коррозии.

Недостаткам данных материалов являются:

1) высокая стоимость производства: к сожалению, создание материалов с эффектом «лотоса» может быть дорогостоящим процессом, особенно если используются наноструктурированные покрытия;

2) недостаточная прочность: в некоторых случаях гидрофобные покрытия могут быть менее прочными, чем обычные материалы, что может ограничивать их применение в некоторых областях;

3) ограниченный выбор материалов: не все материалы могут быть легко модифицированы для достижения эффекта «лотоса», что ограничивает выбор для конкретных приложений.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

### **Библиографический список**

1. Черкашина, Н.И. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухова, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.

2. Ищенко, К.М. О возможности и способах применения анионоактивных кремнийорганических гидрофобизаторов для обработки материалов на основе вспученного перлитового песка и отходов его производства / К.М. Ищенко, Л.А. Сулейманова, И.В. Жерновский // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 60–63.

3. Яцевич, Е.В. Обработка поверхностей кремния и стекла в плазме при атмосферном давлении / Е.В. Яцевич, С.А. Никитюк, Ю.В. Запороженко, Д.А. Котов, А.Н. Осипов // Молодежь в науке – 2018: сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых. – Минск: РУП Издательский дом «Белорусская наука». – 2019. – С. 439–444.

4. Даулетбекова, А.К. Эффект лотоса и биороботы / А. Даулетбекова, К. Шварц, М. Ссорокин // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series. – 2021 – № 4 (137). – С. 71–75.

5. Войтович, В.А. Гидрофобизаций как способ увеличения объемов потребления гипса в строительстве / В.А. Войтович, И.Н.

Хряпченкова, А.А. Яворский, Е.Н. Мордвина // Сухие строительные смеси. – 2014. – № 1. – С. 9–11.

6. Гридунов, А.В. Применение гидрофобизаторов в строительной сфере / А.В. Гридунов, К.С. Давыдьян, М.А. Тлехусеж // Наукосфера. – 2023. – № 5–2. – С. 250–254.

7. Балабанов, В.И. Лотос-эффект и его практическое применение / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – № 2. – С. 41–45.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЕНОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ СУХИХ СМЕСЕЙ**

**Рябчевский И.С., ст. преп.,  
Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Современные тенденции в строительстве направлены на разработку энергоэффективных материалов, среди которых особое место занимает теплоизоляционный пенобетон. Его широкое применение обусловлено низкой теплопроводностью, легкостью и экологичностью [1, 2]. Однако оптимизация состава пенобетона остается сложной задачей, требующей комплексного подхода к регулированию структуры и свойств материала. Исследования показывают, что ключевыми аспектами при проектировании таких композитов являются выбор минеральных и волокнистых добавок [3, 4], применение суперпластификаторов [5], а также использование методов математического моделирования для прогнозирования свойств [6, 7].

Важную роль в формировании свойств пенобетона играют дисперсные и поризующие добавки. Например, микрокремнезем, обладающий высокой реакционной способностью, способствует уплотнению структуры [8], а перлит, благодаря своей пористости, снижает плотность и улучшает теплоизоляционные характеристики [4]. При этом введение таких добавок требует точного дозирования, что подтверждается исследованиями по оптимизации составов с использованием сухих строительных смесей и композиционных вяжущих [9].

Технологические параметры, такие как водотвердое отношение (В/Т) и удельная поверхность компонентов, также оказывают значительное влияние на реологические и прочностные свойства

пенобетона. Работы [10, 11] демонстрируют, что снижение В/Т при сохранении удобоукладываемости возможно за счет применения суперпластификаторов [12]. Кроме того, методы математического планирования эксперимента, включая регрессионный анализ и построение номограмм, доказали свою эффективность для многокритериальной оптимизации композитов [13, 14].

Особое внимание в современных разработках уделяется снижению усадки неавтоклавных бетонов и повышению их прочностных характеристик. Например, введение микрогранулированных воздухововлекающих добавок [12] или модификация силикагелем [7] позволяют контролировать пористость и распределение пор [15-17].

Для проведения исследований использовались следующие сырьевые компоненты: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ОАО «Белгородский цементный завод»); минеральные добавки: вспученный перлитовый песок (далее – перлит) ВПМ, М75 (ООО «Промперлит»), микрокремнезем конденсированный МК-85 (ООО «Химпром»); синтетический пенообразователь ПО-6НП (ООО «Новочеркасский завод синтетических продуктов»); в качестве стабилизатора пены применялась бентонитовая глина компании ТОО «ТАГБЕНТ» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан) (далее – бентонит); суперпластификатор Elocrete (ООО «Полипласт-Юг»).

Для рационализации состава теплоизоляционных пенобетонов использован метод математического планирования эксперимента с варьированием факторов: водотвердое отношение ( $X_1$ ) в пределах от 0,3 до 0,5 с интервалом варьирования 0,1; расход перлита, % от массы цемента ( $X_2$ ) в пределах от 0 до 10 с интервалом варьирования 5; расход микрокремнезема, % от массы цемента ( $X_3$ ) в пределах от 0 до 10 с интервалом варьирования 5.

Факторы, не включенные в план, приняты постоянными, в том числе: удельная поверхность сырьевых компонентов – 700 м<sup>2</sup>/кг; расход суперпластификатора Elocrete – 0,2 % от массы цемента; расход пенообразующего компонента (ПО-6НП : бентонит = 1 : 1) – 2 % от массы цемента.

Для получения математических моделей, отражающих связь между выходными параметрами и основными факторами, проводили статистическую обработку экспериментальных данных. Получены экспериментально-статистические модели влияния управляющих факторов на свойства пенобетонов (1, 2):

$$\rho_{cp} = 237,80 + 1,5 \cdot X_1 - 36,50 \cdot X_2 + 32,50 \cdot X_3 + 23,34 \cdot X_1^2 - 13,65 \cdot X_2^2 + 3,34 \cdot X_3^2 - 0,88 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,88 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,88 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

$$R_{сжс} = 0,56 - 0,02 \cdot X_1 - 0,09 \cdot X_2 + 0,21 \cdot X_3 + 0,09 \cdot X_1^2 - 0,01 \cdot X_2^2 - 0,02 \cdot X_3^2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,02 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

По уравнениям регрессии, входящим в математическую модель, дан анализ влияния исследуемых факторов при прочих равных условиях на среднюю плотность и прочность на сжатие пенобетона. Комплексное представление о влиянии В/Т, расхода перлита и микрокремнезема на выходные параметры пенобетона отражено в графической интерпретации – номограммах зависимостей (рис. 1, 2).

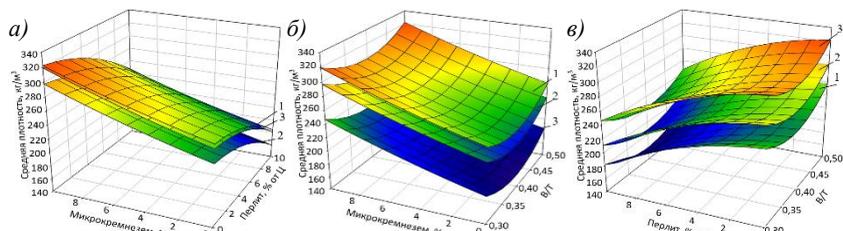


Рис. 1. Номограммы зависимостей средней плотности пенобетона: *а* – от В/Т: 1 – 0,3; 2 – 0,4; 3 – 0,5; *б* – от расхода перлита: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %; *в* – от расхода микрокремнезема: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %

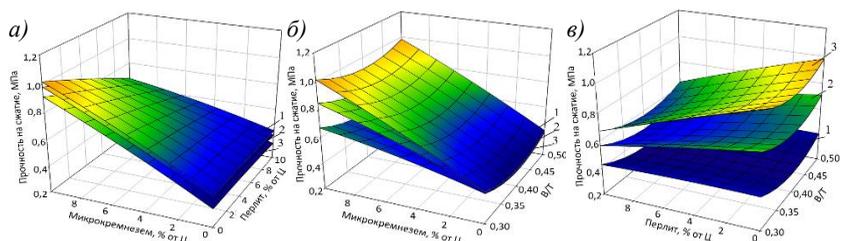


Рис. 2. Номограммы зависимостей прочности на сжатие пенобетона: *а* – от В/Т: 1 – 0,3; 2 – 0,4; 3 – 0,5; *б* – от расхода перлита: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %; *в* – от расхода микрокремнезема: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %

Экспериментально установлено, что регулирование водотвердого отношения, доли перлита и микрокремнезема существенно влияет на свойства пенобетона. Повышение В/Т снижает плотность и прочность из-за увеличения пористости, тогда как рост содержания перлита усиливает этот эффект, формируя макропоры. Микрокремнезем компенсирует снижение прочности, уплотняя микроструктуру, что позволяет частично нивелировать негативное влияние других факторов.

Взаимодействие компонентов имеет нелинейный характер: комбинации с высоким содержанием перлита и избытком воды резко ухудшают прочностные показатели, а микрокремнезем смягчает эти потери при низком В/Т. Наиболее сбалансированные составы достигаются при минимальном использовании перлита и максимальном введении микрокремнезема, что обеспечивает оптимальное соотношение плотности и прочности.

Таким образом, экспериментально подтверждена эффективность метода математического планирования для оптимизации состава теплоизоляционного пенобетона. Установлено, что увеличение водотвердого отношения и доли перлита снижает плотность и прочность материала из-за роста пористости, тогда как микрокремнезем компенсирует эти эффекты, уплотняя структуру. Результаты демонстрируют возможность управления свойствами пенобетона через рациональный выбор факторов и их взаимодействия.

### **Библиографический список**

1. Кудяков А.И., Плевков В.С., Белов В.В., Невский А.В., Кудяков К.Л. Технология и состав углеродифибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей // Вопросы материаловедения, 2016, №1, С.66-72.

2. Сулейманова, Л. А. Неавтоклавный пеногазобетон на основе сухих строительных смесей / Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 73-80.

3. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58-68.

4. Сулейманова, Л. А. Теплоизоляционные материалы. Формированные теплоизоляционные материалы с использованием вспученного перлитового песка и отходов его производства / Л. А. Сулейманова, К. М. Ищенко. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012. – 148 с.

5. Высокотехнологичные бетоны с использованием суперпластифицирующих добавок на основе поликарбоксилата / Л. А. Сулейманова, И. А. Погорелова, А. С. Слепухин, С. И. Плехова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 63-66.

6. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V., Prischepa I.A., Sarkisov J.S. Foam concrete of increased strength with the thermomodified peat additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Advanced Materials in Construction and Engineering. Ser. "International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014". 2015. С. 012012.

7. Сулейманова, Л. А. Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов: монография / Л. А. Сулейманова, И. А. Погорелова, В. В. Строкова. – Белгород: Константа, 2009. – 143 с.

8. Сулейманова, Л. А. Высокая реакционная активность наноразмерной фазы кремнезема композиционного вяжущего / Л. А. Сулейманова, В. С. Лесовик, Е. С. Глаголев // Современные

строительные материалы, технологии и конструкции: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Том 2. – Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2015. – С. 87-93.

9. Kudyakov A.I., Anikanova L.A., Redlikh V.V. Composite binding acid fluoride materials for fencing structures // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture. 2012. No 1 (34). С. 106-111.

10. Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Конушева В.В., Сыркин О.О. Технологические приемы уменьшения усадки неавтоклавногo пенобетона и повышения класса по прочности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 129-139.

11. Пименова Л.Н., Кудяков А.И. Пенобетон, модифицированный силикагелем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. No 2 (39). С. 229-234.

12. Кудяков А.И., Белых С.А., Даминова А.М. Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой // Строительные материалы. 2010. No 1. С. 52-53.

13. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов / Л. А. Сулейманова, А. С. Коломацкий, И. А. Погорелова, М. В. Марушко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 11. – С. 34-42.

14. The Determination of Topological Properties in Polydispersed Mixtures on the Results of Sieve Laser and Particle Size Analysis / A. N. Kharkhardin, L. A. Suleimanova, K. A. Kara [et al.] // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 25, No. 2. – P. 347-353.

15. Новые технологии высокопоризованных бетонов / А. М. Гридчин, В. С. Лесовик, Д. И. Гладков, Л. А. Сулейманова // Поробетон - 2005 : Международная научно-практическая конференция. Сборник докладов. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – С. 6-16.

16. Сулейманова, Л. А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов / Л. А. Сулейманова, К. А. Кара // Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее: Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. Том 3. – Белгород, 2011. – С. 98-102.

17. Сулейманова, Л. А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов / Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 2. – С. 69-76.

## БЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ, АРМИРОВАННЫЕ ДИСПЕРСНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Сопин Д.М., канд. техн. наук, доц.,  
Казлитина О.В., канд. техн. наук, доц.,  
Лобачев Ю.А., магистрант

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

По природе материала дисперсные волокна классифицируются на металлические, полимерные или природные. Согласно другой классификации, армирующие волокна подразделяются на высокомодульные и низкоимодульные. Низкомодульные волокна характеризуются значительным относительным удлинением при разрыве, в этом случае наблюдается повышение ударной прочности бетона. Применение высокоимодульных волокон позволяет достичь также увеличения прочности при растяжении, жесткости и сопротивления динамическим воздействиям.

Среди различных типов волокон стальное волокно используется для большинства строительных конструкций (рис. 1). Применение стального волокна в высокопрочных бетонах может уменьшить хрупкость бетона и изменить механизм разрушения бетонной конструкции. Широкое использование стальных волокон обусловлено экономической эффективностью, производственными мощностями, армирующим эффектом. Металлические волокна характеризуются прочностью на растяжение в диапазоне 200-2600 МПа. Однако экспериментальные результаты показывают, что использование волокон существенно не влияет на модуль упругости бетона, особенно при низком содержании волокон [1].

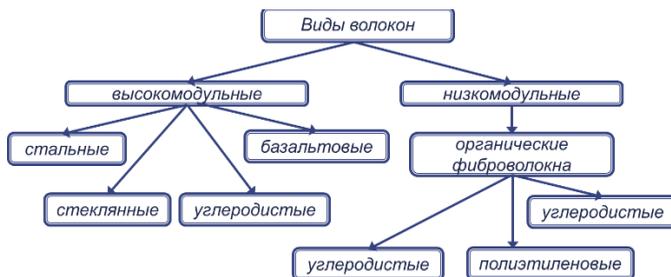


Рис. 1. Классификация армирующих волокон

Следует отметить, что проблемой при применении стальной фибры для приготовления бетонной смеси является способность к образованию

«ежей», вызывающая неравномерное распределение фибры. Этот факт требует равномерной подачи фибры в состав бетонной смеси, а также ее приготовления в смесителях принудительного действия с повышенным энергопотреблением, что приводит к удорожанию бетона. Кроме того, возникает необходимость защиты металлической арматуры от коррозии, а применение в промышленных полах может обусловить повреждение автомобильных шин [2].

В связи с этим, важно использовать другие типы волокон, в частности синтетическую фибру, чтобы повысить устойчивость к динамическим воздействиям бетонов, а также устойчивость к коррозии, обеспечивая долговечность конструкций. Введение волокнистых компонентов оказывает также модифицирующее воздействие, улучшая структуру и, как следствие, механические характеристики матричной системы композита. Применение синтетических волокон способствует интенсификации процесса набора прочности на ранних сроках твердения [3]. Данный факт обусловлен воздействием фибры на структурообразование смеси, повышением внутреннего трения и ограниченным перемещением составляющих матрицы при наличии волокон. Армирующие волокна на ранней стадии твердения являются каркасом, что повышает устойчивость и пластическую прочность материала, нейтрализуя деструктивные процессы при наборе прочности.

Стекловолокно характеризуется отрицательным поверхностным зарядом и является подложкой для кристаллизации продуктов гидратации с положительным поверхностным зарядом – портландита, гидроалюминатов, этрингита, что обеспечивает коррозионную стойкость фибры в щелочной среде, способствует росту электрогетерогенных контактов, уплотнению цементного камня на субмикроруровне и как следствие повышению прочности на сжатие, изгиб, водонепроницаемости, морозостойкости композитов.

Существенным недостатком базальтового волокна является повышенная себестоимость, вызванная использованием дорогих сырьевых материалов при его производстве. Базальтовое волокно разрушается в щелочной среде цементного камня, поэтому для дисперсного армирования необходимо использовать меры для защиты от коррозионного разрушения, что приводит к увеличению себестоимости композита.

В последние десятилетия полипропиленовое волокно все чаще используется в бетоне из-за его преимуществ, в частности низкой плотности и высокой коррозионной стойкости. Введение полипропиленового волокна эффективно уменьшает усадку и улучшает ударопрочность матрицы, динамическое поведение раствора, армированного полипропиленовым волокном, определяет скорость деформации и показывает рост ударной вязкости дисперсно-

армированной матрицы [4, 5].

Использование волокон в высокопрочном бетоне способствует увеличению прочности на изгиб, обусловленное обеспечением фиброй несущей способности за счет межфазной связи с матрицей после ее разрушения. Поэтому волокна противостоят распространению трещин и уменьшают возможность внезапного разрушения, и повышают несущую способность бетона. Фибра снижает хрупкость, характерную для цементного камня, за счет восприятия растягивающих усилий, а также препятствует смещению блоков матрицы при нагрузке.

Основной армирующий эффект введения полипропиленовой фибры оказался в закрытой стадии разрушения, что обусловлено сдерживанием фиброй процесса разрушения от момента развития магистральной трещины и до полной его дефрагментации. Применение полипропиленовой фибры предотвращает образование деформационных трещин, которые возникают вследствие механического воздействия или усадки. Использование полипропиленового волокна позволяет повысить огнестойкость конструкций, за счет снижения вероятности взрывного откалывания при действии огня. Недостатком полипропилена является недостаточно высокая адгезия к цементной матрице.

Учитывая получение необходимой прочности на сжатие и динамических характеристик бетона, практический интерес представляет комплексное модифицирование цементной матрицы бетона органоминеральными комплексами и армирование структуры бетона дисперсными волокнами. Для увеличения прочности и деформативных характеристик целесообразно использовать составы мелкозернистого фибробетона на основе техногенного сырья и композиционных вяжущих с применением нанодисперсного порошка. Применение композиционных вяжущих и высокоплотной упаковки зерен заполнителя значительно повышают показатели прочности.

Деформационное упрочнение должно обеспечиваться при минимизации содержания волокна, поскольку использование фибры выше критического значения приводит к повышению стоимости и создает трудности при обработке материалов. Равномерное распределение волокон необходимо для обеспечения изотропных свойств, поэтому их содержание ограничивают до 2 %. Содержание песка должно быть тщательно отобрано для создания деформационно-упрочненного композита. Целесообразно использование золы-уноса для уменьшения расхода вяжущего [6, 7]. Вместе с тем, введение золы-уноса вследствие низкой реакционной способности приводит к снижению прочности как в ранние, так и поздние сроки твердения, что обуславливает применение ультрадисперсных активных минеральных добавок с повышенной пуццолановой активностью, в частности микрокремнезема, метакаолина.

Таким образом, актуальными с теоретической и практической точек зрения являются исследования, направленные на разработку высокопрочных бетонов, армированных дисперсными волокнами, путем направленного формирования структуры с увеличением количества гидросиликатных фаз при введении ультра - и нанодисперсных минеральных компонентов, высокоэффективных поликарбоксилатных суперпластификаторов, а также дисперсных волокон. Использование фибробетона позволяет обеспечить экономию арматурной стали и трудозатрат на арматурные работы, повысить при этом износостойкость и прочность бетонного пола.

### **Библиографический список**

1. Сопин, Д. М. Армирование бетона дисперсным базальтовым волокном / Д. М. Сопин, Г. Г. Богусевич, В. А. Богусевич // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2020. – С. 385-389.
2. Сулейманова, Л. А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции / Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 6. – С. 9-17.
3. Богачева, М. А. Исследование прочности бетонов, армированных полипропиленовой фиброй / М. А. Богачева, Д. Э. Левшин // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2024. – С. 325-328.
4. Сулейманова, Л. А. Бетон нового поколения, армированный фиброй с эффектом памяти формы / Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин // Научно-технические технологии и инновации (XXV научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2023. – С. 198-204.
5. Богачева, М. А. Фибробетон и его применение в строительной индустрии / М. А. Богачева // VII Международный студенческий строительный форум - 2022. Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума. – Белгород, 2022. – С. 213-220.
6. Римшин, В.И. Материалы и строительные конструкции, армированные композитной неметаллической фиброй или ее близкими аналогами /В.И. Римшин, М.Н. Семенова, М.А. Логунова, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин // в сборнике: Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия при изготовлении строительных материалов и изделий.

Материалы Международной научно-технической конференции. Саранск. 2023. – С. 326-329.

7. Богачева, М. А. Применение дисперсно армированных бетонов в строительстве / М. А. Богачева // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 131-134.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

**Сопин Д.М., канд. техн. наук, доц.,**

**Казлитина О.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Лобачев Ю.А., магистрант**

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

Широкое развитие строительства на современном этапе, когда массово строятся высотные и индивидуальные одноэтажные и двухэтажные здания, обуславливает применение новых легких и энергоэффективных строительных материалов и конструкций. К таким относятся конструкции из ячеистого бетона (рис. 1). Они относительно легкие и звуко- и теплозащитные, поскольку имеют пористую структуру.

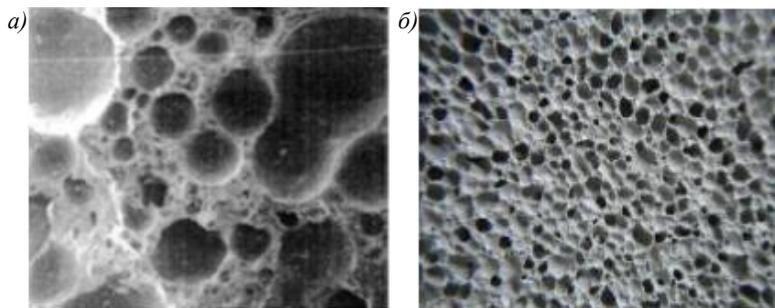


Рис. 1. Вид ячеистого бетона: *а* – поровая структура пенобетона; *б* – в разрезе

На сегодня наиболее распространенным способом получения пористой структуры является добавка к растворам тонко перемолотой металлической стружки (пудры цинка или алюминия), вокруг которой собирается кислород и образует пузырьки газа. Этот газ создает ячеистую структуру в твердеющих растворах. Ячеистый бетон, полученный с помощью газа, получил название газобетон и имел открытую пористую структуру.

Второй способ изготовления ячеистого бетона заключается в

добавлении стойкой пены к раствору при смешивании вяжущих компонентов [1].

Если проанализировать в целом развитие технологии ячеистого бетона, то можно выделить, условно, четыре основных периода:

- развитие технологии неавтоклавного пенобетона;
- развитие технологии автоклавных газобетонов;
- производство автоклавного газобетона;
- возрождение технологии неавтоклавного пенобетона при сохранении производства автоклавного газобетона.

Автоклавный газобетон получил широкое применение из-за надежных и стабильных показателей по объемному весу и по прочности в отличие от пенобетона. Существующие на то время технологии изготовления пенобетона не давали большой гарантии получения материала с необходимыми физико-механическими характеристиками [2, 3].

Получение автоклавного газобетона требовало больших энергозатрат, поэтому с появлением эффективных пенообразующих добавок возобновился интерес к пенобетонам естественного твердения.

В последние десятилетия бетонные добавки приобрели большое значение и, без сомнения, позволили решить большинство проблем, возникающих при строительстве. Благодаря химическим добавкам можно было с экономической выгодой придавать бетону полезные свойства и получать новые технологические возможности.

Стремительное наращивание объемов производства неавтоклавного пенобетона с использованием более эффективных пенообразователей и специальных примесей связано с существенным уменьшением энергозатрат на его изготовление по сравнению с автоклавным пенобетоном.

Ячеистый бетон – это трехфазная система, в которой твердая составляющая создает несущий каркас, обеспечивая прочность материала. Фазовые преобразования в структуре бетона оказывают определенное влияние на физико-механические свойства материала.

Применение пенобетона неавтоклавного твердения позволяет снизить производственную себестоимость готовой продукции. Это становится возможным вследствие снижения энергетических затрат на измельчение и помол исходных сырьевых материалов ячеисто-бетонной смеси и последующей интенсификации направленного кристаллообразования в процессе твердения и набора конечной прочности в автоклаве [4, 5].

Низкая себестоимость изделий неавтоклавного твердения позволяет уменьшить сметную стоимость в жилой и промышленной сфере строительства. Разнообразие сырьевых материалов для газобетона неавтоклавного твердения в виде отходов производства энергетического сектора [6] и химических добавок позволяют в широком диапазоне

управлять характером структуры материалов, что напрямую влияет на его свойства.

Пенобетон успешно использован во многих строительных конструкциях:

- в плитах перекрытия. Использование легкого бетона в строительстве высотных зданий (рис. 2) уменьшает вес зданий, сечения вертикальных элементов, а также размер фундаментов. Существует практика применения пенобетона, как конструкционного материала, для перекрытий при строительстве малоэтажных зданий;

- вариант сборно-монолитных перекрытий с использованием пенобетона. В роли несъемной опалубки использовались сборные железобетонные плиты заводского изготовления, которые после укладывания по несущим стенам заливались поверху пенобетоном, создавая комплексную двухслойную конструкцию.



Рис. 2. Сборно-монолитные перекрытия с использованием пенобетона

Актуальным и неизученным на сегодня является вопрос местного сминания и продавливания пенобетона плит перекрытий от воздействия на них сосредоточенной нагрузки от веса оборудования, а также в местах опирания стоек и колонн, стенах (газоблоки, пеноблоки, заполнение).

Пенобетон на сегодня широко применяется в каркасных домах как наружное заполнение (рис. 3, *а*), а также как внутренние перегородки для хорошей звукоизоляции (рис 3, *б*). Те же самые наружные и внутренние стены можно выполнять из монолитного пенобетона, залитого в соответствующие опалубки (рис 3, *в*).

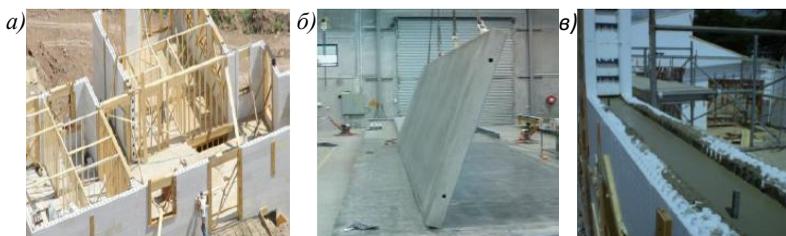


Рис. 3. Применение пенобетона: *а* – наружное заполнение в каркасном доме; *б* – внутренние перегородки-панели из легкого ячеистого бетона; *в* – монолитные стены

Для стен с использованием пенобетона актуален вопрос их работы под действием сжимающих усилий от веса верхних этажей, а также сосредоточенных нагрузок от опертых балок, что может вызвать сминание пенобетона и фундаментах (фундаментные плиты). Пенобетон используется для малоэтажных сооружений (1-4 этажа) и крупноразмерных сооружений торговых центров, паркингов, открытых автомобильных площадок, бензозаправок, построенных на территориях, в основе которых находятся слабые почвы (торфы, текучие глины, лессовые почвы, болота, подделяваемые территории и др.) [7].

Строительство плитных фундаментов из пенобетона может быть основано на принципе равновесия. Тяжелый грунт выкапывается и заменяется легким пенобетоном. Общий вес пенобетона, построенного на нем здания, приравнивается к весу удаленного из котлована грунта.

Результатом этого является здание с минимальным давлением, не превышающим его значения в грунтах основания до строительства. Поэтому грунты основания под пенобетонной фундаментной плитой остаются практически в ненарушенном естественном состоянии.

Плиты пенобетонных фундаментов находятся под действием вертикальных нагрузок от несущих стен и колонн, которые создают в них усилие от продавливания, что вызывает необходимость постановки дополнительного армирования. В плитных конструкциях армирование должно быть горизонтальным с точки зрения удобства вложения и технологии ведения бетонирования, актуальным и перспективным здесь видится использование дисперсного армирования [8].

Пенобетон применяют для выполнения уклонов с обеспечением стока воды на кровле и дополнительной теплоизоляции. При замене классической конструкции покрытия на конструкцию с использованием пенобетона уменьшилось время выполнения и стоимость работ.

При установке по верху кровли оборудования (вентиляторов, генераторов, подстанций и др.), опор под электрические, телевизионные и коммуникационные линии возникают сосредоточенные усилия, которые могут привести к продавливанию пенобетонных плит покрытия,

поэтому исследование таких плит на продавливание является актуальным.

Пенобетон широко применяется в строительстве, данный материал отмечается незначительным весом и положительными теплофизическими свойствами. Но небольшая несущая способность материала, целесообразность и опыт применения пенобетонных монолитных плитных конструкций в местах действия сосредоточенных сил обуславливает необходимость исследование плит из пенобетона на продавливание с целью изучения их работы без армирования и с дополнительным горизонтальным армированием металлической и неметаллической арматурой.

### **Библиографический список**

1. Сопин, Д.М. Анализ технологии производства ячеистых бетонов / Д.М. Сопин, Г.Г. Богусевич, Д.Н. Айыдов, Е.В. Михайличенко // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 207-211.

2. Сулейманова, Л.А. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов / Л.А. Сулейманова, А.С. Коломацкий, И.А. Погорелова, М.В. Марушко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 11. – С. 34-42.

3. Сулейманова, Л.А. Оптимизация формирования структур в технологии газобетона на основе дисперсных систем / Л.А. Сулейманова, М.В. Марушко // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2019. – С. 341-347.

4. Марушко, М.В. Структура неавтоклавного ячеистого бетона на основе дисперсных систем / М.В. Марушко, И.А. Погорелова, Л.А. Сулейманова // Архитектура. Строительство. Информационные технологии - 2023 (АСИТ-2023). Труды I международной научно-практической конференции. – Новороссийск, 2023. – С. 23-26.

5. Марушко, М.В., Современное состояние производства и применения ячеистого бетона неавтоклавного твердения / М.В. Марушко, И.А. Погорелова, Л.А. Сулейманова // Университетская наука. – 2024. – № 2 (18). – С. 41-46.

6. Лесовик, Г.А. Зола-унос как эффективный наполнитель газобетона / Г.А. Лесовик, А.Е. Иванов // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 183-189.

7. Сулейманова, Л.А. Исследование напряженно-деформированного состояния перемычек газобетонных составных / Л.А. Сулейманова, А.А. Обайди, П.А. Амелин, Т.Х. Мохаммедали // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 12. – С. 32-40.

8. Сулейманова, Л.А., Повышение эксплуатационных свойств ячеистого бетона путем микроармирования полипропиленовой фиброй / Л.А. Сулейманова, М.А. Богачева // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства. Сборник тезисов докладов VIII международной научно-технической конференции. – Алчевск, 2024. – С. 387-390.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ ПИРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Пахомов В.Е., студент**

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

Одной из глобальных экологических проблем современности является накопление пластиковых отходов, значительная часть которых не подлежит биологическому разложению. Согласно отчету Организации Объединенных Наций (UNEP, 2023), ежегодно в мире производится более 430 миллионов тонн пластика, при этом более 60 % продукции предназначено для одноразового использования. Менее 9 % от общего объема утилизируется посредством переработки, тогда как остальная часть сжигается или накапливается в окружающей среде, формируя длительно разлагаемые полигоны и микропластиковое загрязнение [1-5].

В условиях дефицита природных ресурсов и увеличения нагрузки на экосистемы возрастает потребность в технологиях, обеспечивающих комплексную переработку отходов с получением продукции, пригодной для практического применения. Переработка пластиковых отходов с использованием пиролиза – процесса термического разложения полимеров в бескислородной среде – позволяет получить полимерную массу, пригодную для дальнейшего использования в строительстве [6-10].

Настоящее исследование направлено на разработку и анализ технологического процесса получения строительных блоков на основе вторичной полимерной пасты с добавлением минеральных наполнителей. Также проводится сопоставление их физико-механических свойств с аналогичными параметрами традиционных

бетонных блоков. Представленная технология может рассматриваться как решение для снижения объемов твердых бытовых отходов и замены энергоемких строительных материалов (рис.).

В исследовании использовались полимерные отходы бытового назначения: полиэтилен низкого и высокого давления, полипропилен (в виде пластиковых бутылок, упаковки, мешков и прочей тары). Отходы предварительно подвергались ручной сортировке и очистке от загрязнений.

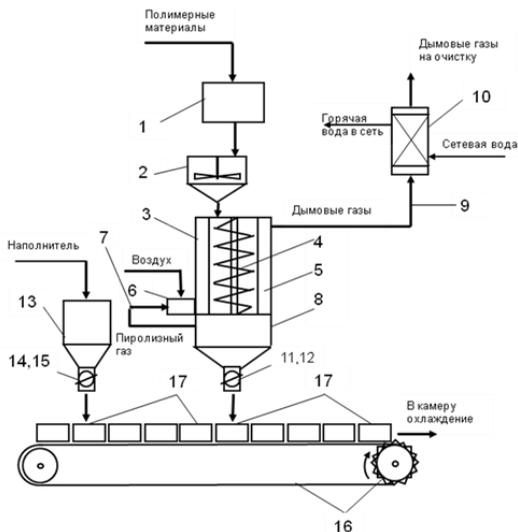


Рис. Устройства по переработке и утилизации полимерных компонентов коммунальных и промышленных отходов с изготовлением элементов строительных конструкций: 1 – измельчитель; 2 – усреднитель; 3 – шнековый подогреватель; 4 – шнек; 5 – тепловая рубашка; 6 – камера сгорания; 7 – трубопровод пиролизного газа; 8 – дегазатор; 9 – трубопровод дымовых газов; 10 – подогреватель сетевой воды; 11 – выходной патрубок; 12, 15 – затвор-мигалка; 13 – бункер для наполнителя; 14 – патрубок с затвором-мигалкой; 16 – ленточный транспортер; 17 – формы для элементов строительных конструкций

Процесс переработки включает следующие этапы:

- механическое измельчение: отходы дробились до фракции менее 10 мм с использованием роторного shreddera;
- пиролиз: измельченный материал загружался в герметичную термокамеру, где при температуре 400–600 °С и полном отсутствии кислорода происходил процесс термического разложения полимеров. В

ходе пиролиза образовывались два продукта: вязкая вторичная полимерная масса и пиролизный газ;

– утилизация газа: полученный газ направлялся обратно в топочный блок, обеспечивая частичную энергетическую автономность установки;

– формирование строительной массы: полученная полимерная паста смешивалась с минеральным наполнителем (доменный шлак, отсеб щебня) в соотношении 1:1 по массе до достижения однородной консистенции;

– формование: смесь заливалась в формы размером 400×200×200 мм, после чего проходила естественное охлаждение в течение 24 часов при температуре окружающей среды;

– испытания: изготовленные образцы подвергались оценке по следующим параметрам: плотность, прочность на сжатие, водопоглощение, морозостойкость и температурный диапазон эксплуатации.

В ходе испытаний были получены образцы строительных блоков из переработанной полимерной пасты с наполнителем. Их характеристики сопоставлены с параметрами стандартных бетонных блоков (ГОСТ 6133-99) (табл.).

*Таблица*

### **Сравнительные характеристики блоков**

Параметр	Переработанный блок	Бетонный блок
Размер блока, мм	400×200×200	390×190×188
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	~1800	~2200
Морозостойкость, циклы	F200 (200)	F100–F200
Водопоглощение, %	< 6	6–10
Прочность на сжатие, МПа	≥ 10	7.5–15
Температура эксплуатации, °С	от –50 до +60	от –40 до +60

Преимуществами переработанных блоков являются:

– теплопроводность – за счет структуры полимера материал обладает более низкой теплопроводностью, чем бетон, что делает его более энергоэффективным при использовании в ограждающих конструкциях;

– морозостойкость и влагостойчивость – повышенная устойчивость к капиллярному впитыванию влаги снижает вероятность растрескивания при чередующихся циклах заморозки и оттаивания;

– масса – более легкий вес при тех же геометрических размерах упрощает транспортировку и укладку;

– замкнутый цикл – пиролизный газ, образующийся в процессе, используется внутри установки, снижая внешние энергозатраты.

Расчеты показали, что выделившегося газа (около 30% от массы перерабатываемого пластика) достаточно для поддержания необходимой температуры пиролиза в течение всего цикла, что подтверждает энергоавтономность процесса. Это означает, что установка может функционировать без внешнего источника топлива, что существенно снижает себестоимость переработки.

Экологические выгоды включают:

- снижение объемов твердых бытовых отходов и нагрузки на полигоны ТБО;
- отсутствие токсичных выбросов в атмосферу благодаря закрытому циклу;
- замещение цементных и бетонных изделий, производство которых сопровождается высокими выбросами CO<sub>2</sub>;
- потенциал локализации технологии в регионах с ограниченной инфраструктурой.

Проведенные исследования подтвердили эффективность использования пиролизной технологии для переработки пластиковых отходов в строительные блоки. Полученные изделия обладают высокими физико-механическими характеристиками, сопоставимыми с традиционными бетонными аналогами, и превосходят их по ряду эксплуатационных свойств, включая морозостойкость и влагостойкость.

Особое внимание следует уделить экологическому аспекту: предложенная технология не только позволяет утилизировать значительный объем полимерных отходов, но и реализует принцип замкнутого энергетического цикла за счет использования пиролизного газа в качестве топлива. Это минимизирует выбросы парниковых газов и снижает внешнюю энергетическую зависимость установки.

Таким образом, разработанный метод представляет собой устойчивую, масштабируемую и экологически безопасную альтернативу существующим подходам к переработке полимерного мусора и производству строительных материалов. Внедрение данной технологии в практику позволит одновременно решить две задачи – утилизацию отходов и производство доступных строительных изделий нового поколения.

### **Библиографический список**

1. Бобович Б.Б. Переработка отходов производства и потребления // Справ. изд. - М.: Интернет Инжиниринг, 2000. 496 с.
2. Гринин А.С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка: учеб. пособие. – М.: ФАИР-ПРЕСС. 2002. 336 с.

3. Иванов В.В. Комплексная переработка промышленных отходов. – Рязань: НП "Голос губернии". 2011. 472 с.

4. Патент № 2787878 С1 Российская Федерация, МПК F23G 5/027, В29В 17/00. Способ и устройство для производства строительных конструкций при утилизации полимерных компонентов коммунальных и промышленных отходов: № 2022103606: заявл. 14.02.2022: опубл. 13.01.2023 / В. С. Ежов, Н. Е. Семичева, В. Е. Пахомов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет".

5. Ежов В.С., Пахомов В.Е., Сайков И.Г., Федянин Д.А. Утилизация коммунальных отходов с одновременным получением биогаза // Инженерные системы и сооружения. 2021. № 3-4(45-46). С. 132-135.

6. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В., Апанасенко И.А. Влияние наполнителей из техногенного сырья белгородской области на горючесть утеплителя на основе пенополиуретана // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 418-422.

7. Сулейманова Л.А., Семенов П.Е. Высококачественное композиционное вяжущее с применением техногенного сырья // В сборнике трудов V Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства». Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Российская академия архитектуры и строительства; ответственный за выпуск Ю.Л. Сколубович. 2012. С. 266-270.

8. Сулейманова Л.А. Композиционное вяжущее с использованием техногенного песка для неавтоклавных газобетонов // В сборнике трудов IV междунар. науч.-практ. конф. «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье». Белгород. 2011. С. 162.

9. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Сулейманов К.А. Энергоэффективные технологии газобетона для зеленого строительства // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2015. С. 142-148.

10. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев Р.А., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства // Научные технологии и инновации: Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения), 2014. С. 354-359.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Трепков Н.Р., магистрант,  
Борисов И.С., аспирант**

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия*

Реализация национальных проектов в строительстве становится новым вызовом для отрасли. Особое внимание уделяется повышению энергетической и ресурсной эффективности [1]. Возведение любого объекта требует корректного подбора необходимых строительных материалов (СМ), качество которых влияет на дальнейший жизненный цикл сооружения.

На сегодняшний день особенно актуальным является вопрос утилизации вновь образующихся отходов. Совокупно ежегодно в России образуется до 9,5 млрд т отходов, из которых на долю промышленных приходится приблизительно 9,3 млрд т [2]. Их утилизация и вторичное использование представляет первостепенный интерес в условиях активизации экономического роста, и, как следствие, увеличения объемов промышленного производства. Строительная отрасль является одним из ключевых потребителей сырьевых ресурсов, а дальнейший рост ввода нового жилья требует поиска новых подходов в обеспечении СМ, обладающих необходимыми свойствами и эффективностью.

Создание новых композитных СМ необходимо для получения современных и качественных изделий, обеспечивающих все требуемые технико-экономические параметры. Снижение материалоемкости и себестоимости строительства возможно с использованием местных сырьевых ресурсов. Наиболее удачным с точки зрения доступности является техногенное сырье, не требующее специализированных горнотехнических работ. Его применение позволит снизить процент использования первичного сырья, а также уменьшает воздействие на экологию. Однако при его использовании следует тщательно исследовать минеральный состав для определения совместимости с существующими технологическими процессами производства СМ.

Ленинградская область является одной из самых динамичных по темпам ввода объектов малоэтажного строительства [3]. Поэтому для данного региона особенно актуально рассмотрение потенциальных источников техногенного сырья для локализованного производства СМ. Кроме того, вовлечение вторичного сырья способствует созданию экономики замкнутого цикла, что повышает общую эффективность процессов строительной отрасли [4].

Методика определения подходящего объекта, содержащего

техногенное сырье, основана на рассмотрении следующих факторов: логистическая доступность, минеральные компоненты, объемы. На основе этого делаются выводы о дальнейшей целесообразности использования данного источника для определенного вида СМ. В табл. 1 представлены критерии оценки объектов техногенного сырья с их районом расположения.

Таблица 1

**Критерии рассматриваемых техногенных источников сырья для определенного СМ**

Район расположения, вид объекта	Логистическая доступность	Минеральные компоненты	Объем, т
Наименование, №	ж/д – наличие железной дороги; а/м – наличие автомагистрали	Перечень химических соединений и элементов	Количество накопленного сырья

В Ленинградской области широко представлены следующие полезные ископаемые: бокситы, фосфориты, сланцы, глина, марганец, известняк, гранит, песок, горючие сланцы. Как результат разработки данных ресурсов и другой хозяйственной деятельности на территории области образовалось как минимум 209 различных объектов прошлого экологического ущерба (ПЭУ) [5]. В табл. 2 представлен перечень данных объектов промышленного происхождения.

Таблица 2

**Объекты ПЭУ промышленного происхождения в Ленинградской области**

Вид объекта ПЭУ	Число, шт.	Доля от общего числа, %
1. Горнотехнические объекты	4 [5]	1,91
2. Карьеры общераспространенных полезных ископаемых	19 [5]	9,09
3. Промышленно-индустриальные общие	13 [5]	6,22
4. Промышленно-индустриальные химико-технологические	1 [5]	0,48
5. Шлакозолоотвалы	4 [5]	1,91

Расположение объектов ПЭУ имеет большое влияние на итоговую себестоимость получаемых из техногенного сырья СМ, потому как уместен учет транспортных расходов до места производства. Помимо этого, необходима доставка тяжелой спецтехники, участвующей в рекультивации нарушенных земель. На рис. 1 представлена карта Ленинградской области. Обратимся к ней чтобы наглядно оценить транспортную доступность каждого из районов. На карте отражены лишь железные дороги как элементы транспортной инфраструктуры, ввиду широкого распространения сети автомагистралей в области.



Рис. 1. Районы Ленинградской области

Согласно имеющимся данным в табл. 3 представлена оценка объектов ПЭУ Ленинградской области по вышеупомянутым критериям.

Таблица 3

**Оценка объектов ПЭУ Ленинградской области**

Район расположения, вид объекта	Логистическая доступность	Минеральные компоненты	Объем, т.
Кингисеппский, 2; 4	ж/д, а/м	Fe2O3, F, Rn, P2O5, SiO2 [5]	120 [5]
Сланцевский, 1; 3; 5	ж/д, а/м	SiO2, CaCO3, Ca2SiO4, Ca2Al(Al;Si)2O7, (Fe,Mg)2SiO4 [6]	83,5 [5]
Бокситогорский, 2; 3; 5	ж/д, а/м	SiO2, Al2O3, Fe2O3, CaO, MgO, Na2O + K2O, TiO2, SiO2	33 [5]
Выборгский и Приозерский, 2	а/м	CaCO3	3 [5]
Волховский, 5	ж/д, а/м	Sr, S, F, TR [5]	-

Каждый из рассматриваемых районов Ленинградской имеет хорошую транспортную доступность для дальнейшей рекультивации объектов ПЭУ. Техногенное сырье, представленное в регионе, подходит для производства различных СМ.

Объекты ПЭУ Кингисеппского района обладают высоким содержанием фторидов, а также в отвалах фосфогипса промышленной площадки «Фосфорит» присутствуют радоновые соединения. Наличие данных химических элементов серьезно усложняет применение техногенного сырья вышеупомянутого источника для производства СМ.

В Сланцевском районе содержатся большие объемы отработанного сланца, золошлаковых остатков. Их минеральный состав перспективен

для создания композиционного гипсового вяжущего [7], а также для создания бетонной смеси, применяемой в строительной 3D-печати [8]. Использование золы также способно существенно сэкономить использование цемента и заполнителя [9]. Также возможно применение данного ресурса для создания геополимерных вяжущих [10].

Нефелиновый шлам Пикалевского глиноземного завода может стать потенциальным компонентом в производстве щебеночно-мастичного асфальтобетона [11]. Помимо этого, красный шлам Бокситогорска удачно использовать в качестве компонента строительной керамики [12, 13].

Источники сырья Выборгского и Приозерского районов являются отработанные карьеры общераспространенных полезных ископаемых, содержащие отсеvy горных пород, в особенности гранита. Эти объекты могут стать ключевым сырьевым компонентом в качестве заполнителя бетона.

Волховский район как источник техногенного сырья интересен для производства композитных гипсовых СМ. Однако необходимо учитывать трудности реализации данного источника из-за наличия фтор содержащих минеральных остатков.

Ежегодно в Ленинградской области образуется порядка 12 млн т различного техногенного сырья разной степени пригодности для вторичного использования, частично его перерабатывают на местах возникновения. Несмотря на это, важно найти прикладное применения накопленным объектам ПЭУ. Перечень СМ, которые можно производить на основе техногенного сырья Ленинградской области велик: вяжущие, геополимеры, заполнители, бетонные смеси, гипсовые материалы, керамика, щебеночно-мастичные асфальтобетоны. Наиболее подходящие районы для вовлечения вторичного сырья – Бокситогорский, Сланцевский, Выборгский и Приозерский.

### **Библиографический список**

1. О национальном проекте «Инфраструктура для жизни» [Текст] : постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 27.11.2024 № 530-СФ // Собр. законодательства РФ. – 2024. – № 49. – С. 9. – ст. 7476 (Часть V).

2. Шушпанова, Д.В., Якушина, А.М., Тихонова И.О., Голуб, О.В. Анализ состояния отрасли по обращению с отходами производства и потребления в контексте климатической повестки // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2024. т. XXXV. № 3-4. С. 56-72. DOI: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-56-72.

3. Нацпроекты: в Ленобласти растёт сектор ИЖС // Правительство Ленинградской области: сайт. – 2024. – 7 фев. – URL: <https://lenobl.ru/ru/dlya-smi/news/70273/> (дата обращения 30.03.2025).

4. Белоногова Ю.О., Ощепкова А.З., Сомова Т.Н. Методология включения крупнотоннажных промышленных отходов в региональные программы по экономике замкнутого цикла // Проблемы региональной экологии. 2024. №5 С. 62-71. DOI: 10.24412/1728-323X-2024-5-62-71.

5. Питулько, В. М. Реновация природных систем и ликвидация объектов прошлого экологического ущерба: монография / В.М. Питулько, В.В. Кулибаба. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 497 с.

6. Назаренко М.Ю., Кондрашева Н.К., Салтыкова С.Н. Характеристика отходов сланцепереработки для их использования в качестве фильтрующих материалов // Вода и экология: проблемы и решения. 2018. № 1(73). С. 9-16.

7. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю., Моторькин Д.А., Лесниченко Е.Н., Бочарников А.Л. Состав и реологические свойства формовочных смесей на композиционном гипсовом вяжущем // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 45–52.

8. Шеремет А. А. Композиционное вяжущее для трехслойного 3D-аддитивного строительства» // Университетская Наука. 2022. № 1(13). С.105-108.

9. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Использование золошлаковых отходов в гидротехническом бетоне для шахтной крепи // Уголь. 2022. № 2. С. 45-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-45-49.

10. Петропавловская В.Б., Филиппова О.П., Цховребов Э.С., Новиченкова Т.Б. Экономическая оценка экологически безопасного использования техногенных отходов в производстве геополимеров для нужд строительства // Экономика строительства. 2024. №5. С.406-409. DOI: 10.24412/0131-7768-2024-5-406-409.

11. Васильевская Г. В., Берсенева М. Л., Дружинкин С. В., Киселев В. О., Якшина А. А. Применение отходов промышленности для получения щебеночно-мастичного асфальтобетона // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7.

12. Вакалова Т.В., Сергеев Н.П., Толегенов Д.Т., Толегенова Д.Ж., Митина Н.А. Перспективы использования красного шлама для получения высокопрочной строительной керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 171-184.

13. Еромасов, Р. Г. Влияние модифицирования нановолокнами  $Al_2O_3$  на свойства стеновой строительной керамики на основе кварц-полевошпатового техногенного сырья / Р. Г. Еромасов, А. Ф. Шиманский, М. М. Симунин, М. Н. Васильева, А. С. Самойло. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2023. 16(5). С. 542-549.

## **ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОНА**

**Чекан Н.М., канд.-физ. -мат. наук,  
Овчинников Е.В., д-р техн. наук, доц,  
Акула И.П., канд. техн. наук,  
Линник Д.А., канд. техн. наук, доц,  
Адамчик А., аспирант,  
Белоусов Д. В., магистрант**

*Физико-технический институт НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь*

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
г.Гродно, Беларусь*

Вакуумные покрытия, которые получают путем осаждения в вакуумной камере, позволяют значительно увеличить срок эксплуатации изделий, изготавливаемых из различных материалов и конструкций. Эта технология, благодаря своим экологическим свойствам и низкой ресурсоемкости, является высоко технологичной, экологически безопасной и ресурсосберегающей. При создании покрытия используются три основных подхода: физическое, химическое и физико-химическое осаждение в вакууме. Технология, используемая в данных технологических процессах, имеет множество вариантов исполнения, позволяющих создавать покрытия с большим разнообразием функциональных характеристик. Из-за окисления на воздухе и снижения физико-механических характеристик, вакуумные покрытия не могут применяться при температурах выше 530-700 °С. Это является главным недостатком данного типа покрытий. В ряде случаев он решается путем применения рефракторных металлов для формирования защитных слоев, однако это приводит к увеличению стоимости получаемых покрытий. Указанный температурный предел применимости ограничивает использование вакуумных покрытий для защиты технологической оснастки при литье металлов, эксплуатации инструмента для обработки металлов, древесины и композиций на базе нее.

В связи с этим разрабатываются покрытия, которые обладают повышенными температурными характеристиками и высокими антифрикционными свойствами. В основе данных свойств лежит способность высокоэнтروпийных материалов, которые состоят из пяти и более компонентов, содержать в своем составе рефракторные металлы, позволяющие значительно повысить температурные режимы эксплуатации изделий. Данные покрытия имеют многослойную

структуру, состоящую из наночастиц. В процессе их формирования образуются объекты различной функциональной значимости, что позволяет получать защитные слои с уникальными свойствами [1-3].

Целью данного исследования является изучение многокомпонентных по составу вакуумных покрытий, которые обладают высокой степенью надежности и долговечности в сравнении с традиционными вакуумными покрытиями на основе нитрида, карбида, карбонитрида титана, алюминия.

Основные материалы для строительной индустрии, автомобильной, химической и аэрокосмической промышленности являются те, которые обладают целым комплексом свойств: высокой износостойкостью, термостойкостью, электропроводностью, прочностью и твердостью. Вышеупомянутые свойства применимы также и к покрытиям, которые используются в тех областях, где были указаны выше. Для того чтобы интерес к данным материалам и покрытиям был обоснован по экономическим или производственным причинам, следует рассмотреть следующие факторы, которые позволят снизить себестоимость формирования покрытий, а также увеличат ресурс эксплуатации изделий с покрытиями, формируемыми по технологии PVD, CVD, PCVD. С помощью высокой стойкости к коррозии, износу и возможности создания разнообразных типов конструкций с большим сроком эксплуатации, можно добиться снижения стоимости продукции за счет увеличения сроков межремонтного обслуживания, уменьшения расходов на техническое обслуживание, а также повышения качества производимого продукта.

Применяя многокомпонентные покрытия, в частности системы титан-алюминий-азот, титан-алюминий-кремний-азот, допированных углеродом, фтором можно повысить срок эксплуатации изделий. Среди основных преимуществ, которые имеют эти покрытия перед классическими материалами на основе карбида титана, нитрида циркония можно отметить: хорошую стойкость к окислению, более высокую микротвердость и сохранение исходных физико-механических характеристик покрытий при воздействии высоких температур. Установлено, что термостойкость покрытий, содержащих в своем составе Al приводит к формированию соединений на основе оксида алюминия. Данный защитный слой позволяет существенно снизить скорость окисления покрытия и резко увеличить адгезионное взаимодействие тонкослойных вакуумных покрытий с поверхностными слоями обрабатывающего инструмента, что обуславливает высокие эксплуатационные характеристики модифицированных изделий.

Покрyтия формируемых методом плазмохимического осаждения из нитридов переходных металлов широко используются в различных отраслях промышленности. Основным направлением использования данных соединений является повышение эксплуатационных свойств режущего инструмента, защита различных изделий и их компонентов от износа, эрозии и коррозии [4, 5]. Среди них покрyтия  $Ti_{1-x}Al_xN$  представляют большой интерес [6-8] из-за высоких износостойких и антикоррозионных свойств. Включение Al в кристаллическую решетку TiN приводит к твердорастворному упрочнению покрyтий [6, 9]. При среднем содержании Al ( $0,33 < x < 0,67$ ) механизм наблюдается упрочнения границ зерен, что также способствует повышению твердости, которая превышает 30 ГПа [5] и может достигать 40 ГПа [6]. Покрyтия  $Ti_{1-x}Al_xN$  также характеризуются высокой термостойкостью до 850 °C – 950 °C, при которой спинодальный распад метастабильного твердого раствора  $Ti_{1-x}Al_xN$  приводит к появлению областей, с повышенным содержанием соединений TiN и AlN, с последующим образованием гексагональной фазы вюрцита [10, 11]. Кроме того, введение Al в TiN значительно увеличивает стойкость к окислению, что объясняется тем, что аморфный оксидный слой, богатый Al, препятствует внутренней диффузии кислорода при температурах ниже 750 °C – 800 °C [10, 12].

Шугуров с соавторами [13] исследовали процессы изменения микроструктуры и механических свойств магнетронно-напыленных покрyтий  $Ti_{1-x-y-z}Al_xTa_ySi_zN$  при возрастании концентрации Si от  $z = 0$  % до 0,3 %. На основании результатов, полученных методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и рентгеновской дифракции показано, что при  $z = 0,1$  в покрyтиях формируется нанокпозиционная структура, состоящая из кристаллитов Ti–Al–Ta–Si–N и аморфной фазы  $Si_3N_4$ . Применение сканирующей электронной микроскопии и просвечивающей электронной микроскопии показало изменение микроструктуры покрyтий при увеличении содержания Si от выраженной столбчатой морфологии до аморфной морфологии. Образование аморфной фазы в покрyтиях с  $z \geq 0,12$  показано с помощью исследований просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Изменение механических свойств покрyтий, содержащих Si при различных концентрациях данного химического элемента в покрyтиях изучено методом наноиндентирования. Установлено, что покрyтие  $Ti_{0,36}Al_{0,44}Ta_{0,10}Si_{0,10}N$  имеет максимальную твердость 41 ГПа в сочетании с самыми высокими соотношениями  $H/E^*$  и  $H^3/E^{*2}$ .

В работе [14] были рассмотрены тонкослойные система Ti–Si–C и Ti–Si–N, которые были термодинамически рассчитаны с использованием

высокопроизводительной программной среды CALculation of PHase Diagram (CALPHAD). Было получено более подходящее выражение энергии Гиббса для системы  $Ti_3SiC_2$ , которое лучше соответствует экспериментальным данным о теплоемкости в системе Ti–Si–C. Термодинамические параметры системы Ti–Si–N были скорректированы на основе рассчитанной в программной среде системы Ti–Si. Была создана термодинамическая база данных системы Ti–Si–C–N. Рассчитанные термодинамические значения для исследуемых систем и фазовые диаграммы хорошо согласуются с экспериментальными данными. Процесс CVD (химическое осаждение из паровой фазы) для покрытий TiSiCN был смоделирован с использованием новых полученных значений термодинамических параметров системы Ti–Si–C–N. Показано, что достигается хорошая корреляция между теоретическими значениями предложенных составов покрытий и экспериментальными данными, что подтверждает адекватность разработанной термодинамической базы данных, полученной в работе [14].

Существенной проблемой при осаждении вакуумных покрытий является обеспечение хорошей адгезии с подложкой. Для улучшения адгезионных характеристик было предложено проводить лазерное текстурирование подложки [15]. Ян Ву с соавторами предложил применить широкотекстурированную и узкотекстурированную обработку поверхности субстрата. В зависимости от технологии лазерной подготовки поверхности были оценены адгезионные, антифрикционные свойства и твердость формируемых покрытий на основе соединений AlTiNSi. Установлено, что наибольшую адгезионную прочность обеспечивает узкотекстурированная обработка стальных субстратов значения которой находятся в области 47,2 Н, что 1,6 раза больше чем при формировании покрытий на необработанных подложках. Данный технологический подход в подготовке поверхности субстрата позволяет увеличить значения микротвердости до 32,6 ГПа, что на 19,4 % больше, чем твердость твердость покрытий, сформированных без предварительной обработки субстрата.

Одним из параметров, влияющим на износостойкость инструмента с покрытиями на основе алтинов, является толщина защитного слоя [16] проведенные исследования с применением высокопроизводительной компьютерной среды с использованием метода конечных элементов. В ходе проведенных исследований показана хорошая корреляция значений толщины покрытия с производительностью обработки изделий при резании. Процесс создания и классификации новых композиционных покрытий, технологий их получения, технических характеристик и

свойств, является перманентным. Данные защитные слои представляют собой новый класс материалов, которые имеют стабилизированную структуру с наноразмерными включениями керамических и интерметаллидных фаз. Наиболее пристальное внимание при исследованиях уделяется покрытиям, которые содержат Ti-Al-N [17]. В их число основных преимуществ входит лучшая в сравнении с TiN устойчивость к окислению, повышенная твердость и стабильные свойства при высоких температурах. Если поверхность Ti-Al-N нагревается на воздухе, то слой оксида алюминия предотвращает дальнейшее окисление и адгезионное взаимодействие с материалом, что препятствует дальнейшему окислению и взаимодействию с обрабатываемым материалом. Твердость этих покрытий может достигать до 40 ГПа, а температура их эксплуатации может доходить до 900 °С. Уникальным видом покрытия, представляющим особый интерес, являются интерметаллиды титана и алюминия с размером зерен 15-20 нм, в которых практически отсутствует пластическая деформация, которая возникает в результате перемещения дислокаций. Нитриды кремния, оксиды иттрия или алмазоподобный углерод могут быть использованы для предотвращения зернограничного проскальзывания в составе покрытия. Они способствуют выделению на границе зерен и стабилизируют их [18, 19].

Формирование покрытий на основе алтинов, допированных фтором и углеродом на стальной подложке приводит к увеличению значений микротвердости многослойных композиционных покрытий по сравнению с исходными покрытиями алтинов. Данный эффект возможно объяснить, исходя из увеличения количества активных зарядовых центров (АЗЦ) на поверхности подложки вследствие использования многокомпонентных покрытий. Увеличение количества (АЗЦ) приводит к увеличению дисперсности фаз, содержащихся в структуре покрытия, что сказывается на прочностных характеристиках углеродных покрытий.

Проведенные исследования по определению значений микротвердости покрытий на основе алтинов, модифицированных фтором и углеродом, показали, что нанесение высокоэнтропийных соединений существенно увеличивает прочностные характеристики модифицируемой, стали в поверхностных слоях. Установлено, что значения микротвердости исследуемых стальных образцов находятся в пределах от 2,8 до 3,2 ГПа в зависимости от условий проведения испытаний по определению параметров микротвердости. Формирование композиционных покрытий на основе алтинов, в общем случае, приводит к увеличению значений микротвердости от 4 до 10 раз в зависимости от

типа покрытия. Наибольшими значениями микротвердости обладают покрытия, в составе которых есть такие химические элементы как углерод и фтор. Возможно, что в структуре вакуумных покрытий образуются высокоэнтропийные фазы и МАХ-фазы, которые обладают повышенными физико-механическими характеристиками в сравнении с исходными покрытиями и металлическим субстратом. Проведенные испытания сверл, полотен сабельных пил по бетону с разработанными вакуумными покрытиями при обработке различного типа бетонов показали возрастание износостойкости данного инструмента от 1,3-2,7 раз.

### **Библиографический список**

1. Овчинников Е.В. Морфология и физико-механические свойства покрытий из нитрида титана, модифицированных фторсодержащими олигомерами и полимерами / Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 2. Математика. Физика. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2000. – № 1(3). – С. 62.

2. Чекан Н.М., Овчинников Е.В. Термостойкие вакуумные покрытия для металлообрабатывающего инструмента / Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2015. № 1 (198). С. 30-36.

3. Овчинников Е.В., Чекан Н. М., Эйсымонт Е. И., Акула И. П., Линник Д. А., Свистун А. Ч., Овчинников А. Е. Физико-механические характеристики нанокomпозиционных покрытий на основе алтинов / Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2025. Т. 15. № 1. С. 83-92.

4. Schalk N., Tkadletz M., Mitterer C. Hard coatings for cutting applications: physical vs. chemical vapor deposition and future challenges for the coatings community // Surf. Coat. Technol. – 2022. – Vol. 429. – P. 127949.

5. Ou Y.X. [et al.] Recent advances and strategies for high-performance coatings // Prog. Mater. Sci. – 2023. – Vol. 136 (17). – P. 101125.

6. PalDey S., Deevi S.C. Single layer and multilayer wear resistant coatings of- (Ti,Al)N: a review // Mater. Sci. Eng., A. – 2003. – Vol. 342, Is. 1–2. – P. 58-79.

7. Liu Z.-J., Shum P.W., Shen Y.G. Hardening mechanisms of nanocrystalline Ti–Al–N solid solution films // Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 468, Is. 1–2. – P. 161-166.

8. Chen L. [et al.] Thermal stability and oxidation resistance of Ti-Al-N coatings // *Surf. Coat. Technol.* – 2012. – Vol. 206, Is. 11–12. – P. 2954-2960.
9. Chen Y.H. [et al.] Enhanced thermal stability and fracture toughness of TiAlN coatings by Cr, Nb and V-alloying // *Surf. Coat. Technol.* – 2018. – Vol. 342. – P. 85-93.
10. Liew W.Y.H. [et al.] Thermal stability, mechanical properties, and tribological performance of TiAlXN coatings: understanding the effects of alloying additions // *J. Mater. Res. Technol.* – 2022. – Vol.17. – P. 961-1012.
11. Glatz S.A. [et al.] Influence of Mo on the structure and the tribomechanical properties of arc evaporated Ti-Al-N // *Surf. Coat. Technol.* – 2017. – Vol. 311. – P. 330-336.
12. Glatz S.A. [et al.] Arc evaporated W-alloyed Ti-Al-N coatings for improved thermal stability, mechanical, and tribological properties // *Surf. Coat. Technol.* – 2017. – Vol. 332. – P. 275–282.
13. Shugurov A.R. [et al.] The effect of Si content on microstructure and mechanical properties of Ti–Al–Ta–Si–N coatings // *Vacuum.* – 2023. – Vol. 216. – P. 112422.
14. Wang S. [et al.] Thermodynamic reassessments of the Ti–Si–C/Ti–Si–N systems and thermodynamic calculations of CVD TiSiCN hard-coating based on the Ti–Si–C–N quaternary system // *Calphad.* – Vol. 82. – P. 102586.
15. Wu Y., Xie Y., Gu J. Influence of laser texturing on the mechanical properties of TiAlSiN coatings on the substrate surface. // *Materials Letter* – 2024. – Vol. 377. – P. 137340.
16. Upadhyay C. [et al.] Influence of TiAlN coatings thickness on dry machining of AISI 1045 steel using Finite Element simulation experiments, surface and coatings // *Technology.* – 2024. – Vol. 6. – P. 131496.
17. Münz W.D. Titanium aluminum nitride films: a new alternative to TiN coatings // *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum.* – 1986. – Vol. 4(6). – P. 2717–2725.
18. Овчинников Е.В. [и др.] Энергетические характеристики покрытий на базе соединений AlTiN // *Вестник ГрДУ, Сер. 6.* – 2013. – № 1 (145). – С. 75-85.
19. Акула И.П., Чекан Н.М., Овчинников Е.В. Морфология высокоэнтропийных вакуумных покрытий на основе рефракторных металлов / *Прогрессивные технологии и системы машиностроения.* – 2024. – № 2 (85). – С. 9-15.

Научное издание

IX Международная  
научно-практическая конференция  
«Наука и инновации в строительстве»

Сборник докладов

Ответственный за выпуск **Сулейманова** Людмила Александровна

Компьютерная верстка **Богачева** Марина Александровна

Подписано в печать 05.05.25. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 18,9. Уч.- изд. л. 20,3.  
Тираж 60 экз. Заказ № Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

