

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

X Международный строительный форум молодых ученых - 2025

(Белгород, 25 ноября 2025 г.)

Том 1

Сборник докладов

Белгород
2025

УДК 69
ББК 38
Д25

Д25 **X** Международный строительный форум молодых ученых –
2025: сб. докл.: в 2 т. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2025.– Т.1. –
345 с.

ISBN 978-5-361-01614-3 (т.1)
ISBN 978-5-361-01616-7

В сборник вошли доклады, представленные участниками X Международного строительного форума молодых ученых-2025, состоявшегося в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова 25 ноября 2025 г. В сборнике представлены доклады по направлениям «Современные конструкции и расчетные методики зданий и сооружений», «Информационное моделирование строительства», «Прогрессивные организационно-технологические решения в строительстве».

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

Сборник докладов публикуется в авторской редакции.

**УДК 69
ББК 38**

ISBN 978-5-361-01614-3 (т.1)
ISBN 978-5-361-01616-7

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

ОРГКОМИТЕТ ФОРУМА

Глаголев С.Н.	– и.о. ректора 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.
Поляков В.М.	– проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности БГТУ им. В.Г. Шухова канд. техн. наук, доц.
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.
Меркулов С.И.	– заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Курского государственного университета, д-р техн. наук, проф.
Смоляго Г.А.	– д-р техн. наук, проф. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
Кочерженко В.В.	– канд. техн. наук, проф. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
Есипов С.М.	– канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
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
Дрокин С.В.	– канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова
Рябчевский И.С.	– канд. техн. наук, ст. преп. кафедры строительства и городского хозяйства БГТУ им. В.Г. Шухова

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	9
Современные конструкции и расчетные методики зданий и сооружений	
Абузевых Ю. К. И.	
Параметры модели CDP для сверхвысокопрочного бетона.....	10
Андрейшкин Я.В., Репин А.В., Васильева А.А.	
Анализ путей повышения адгезии эпоксидного клея с композитной арматурой...	15
Городков Г.Д., Гущин Д.А.	
Купольные строения: архитектура, синтезирующая форму и функциональность..	21
Жилин Д.А.	
Численное исследование коэффициента надежности по нагрузке от собственного веса стальных ферм покрытия.....	24
Жукова Н.А., Зенина Ю.С.	
Особенности расчета конструкций покрытия общественного здания с учетом редуцирования.....	27
Зеленый М.И., Померанцев С.Н.	
Особенности расчета несущей способности свай малого сечения при свободном сопряжении с ростверками.....	31
Ларина В.Ю., Володина Е.В., Щетинин Б.О.	
Расчет прочности конструкции малоэтажных домов из пенобетона.....	35
Лимощенко В.А.	
Сущность расчета на резонансное вихревое возбуждение.....	37
Лимощенко В.А.	
Армирование конструкций при аддитивной технологии строительства.....	41
Мирошников Д.А.	
Методы оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных рам на этапах, предшествующих разрушению.....	45
Мирошников Д.А.	
Сборно-монолитные железобетонные плоские статически неопределимые рамные конструкции.....	50
Мишенин О. В.	
Совершенствование методики экспериментального исследования работы балок при динамическом воздействии при изгибе с кручением.....	57
Мурцалов А.М.	
Прочность изгибаемых клеесодеревянных элементов с полимеркомпозитной арматурой.....	61
Панченко А.В.	
Задачи и методы бионики.....	65
Пардаев М.Р.	
Исследование НДС узла сопряжения «колонна-плита» в безбалочном монолитном перекрытии.....	68
Севрюков А.А.	
Методы моделирования взаимодействия здания с грунтовым основанием.....	71
Семенов А. Ю.	
Анализ устойчивости зданий с различными конструктивными схемами к внешним взрывным воздействиям.....	75

Сысолятин В.Е.	
Усиление композитными ламелями из углеткани деталей из древесины.....	78
Териков В.В.	
Усиление металлических конструкций при помощи композитных материалов....	82
Тищенко А.Е., Кислинская Ю.В., Финогенов Р.С.	
Оценка эффективности композитного усиления стальных полос: опытные образцы, программа и методика испытаний.....	85
Юрченко Э.В.	
Клеодеревянные элементы, армированные углепластиком.....	91
Информационное моделирование строительства	
Алаторцева М.А.	
Методы календарно-сетевое планирования и информационного моделирования, применяемые при строительстве промышленных комплексов.....	95
Басова Д.Н.	
Практические аспекты формирования цифровой информационной модели в современных условиях.....	100
Бачкала В.О., Манаков Н.А., Гуцин Д.А.	
Современные программы для проектирования деревянных зданий и конструкций.....	104
Бурунов Г.А.	
Автоматизация строительных процессов с помощью дронов.....	108
Дорожкина Е.А.	
Анализ совместимости ТИМ-платформ на различных стадиях комплексного проектирования.....	112
Зубов С.В.	
Методика применения технологии 4D-моделирования в строительстве жилых зданий.....	115
Кравченко Н.Ю.	
Эффективность 4D-моделирования при расчете сметной документации.....	119
Кувшинова А.С., Демьянова А.И.	
Внедрение цифровых технологий (BIM, ERP) в строительной отрасли: проблемы и перспективы интеграции.....	125
Медведева А.А.	
Нормативно-правовое регулирование информационных технологий в строительной отрасли.....	128
Носова Р.И.	
Исследование потенциала информационного моделирования при проектировании многоэтажных парковок из сборно-разборных конструкций в условиях мегаполиса.....	133
Овчинников А.Е., Левшин А.М.	
Автоматизация семантической сегментации облаков точек в строительстве на основе методов искусственного интеллекта.....	138
Пашков А.С.	
Краски для отделочных работ с учетом экологичности	147
Погореленко К.А., Щетинин Б.О.	
Управление цепочками поставок: рассмотрение оптимизации логистики и управления поставками материалов и оборудования для строительных проектов	150

Трошкина В.Б., Шаповалов М.М., Артемова К.А.	
Разработка прототипа системы управления строительством на основе BIM 4D5D для прогнозирования и минимизации рисков срыва сроков и бюджета.....	153
Трошкина В.Б., Шаповалов М.М., Артемова К.А.	
Исследование методов повышения производительности работы с высоко детализированными (HIGH-DETAIL) BIM-моделями на стадии рабочей документации.....	158
Трошкина В.Б., Шаповалов М.М., Артемова К.А.	
Разработка и апробация алгоритмов автоматизированного контроля коллизий в комплексных BIM-моделях объектов капитального строительства.....	163
Щетинин Б.О., Погореленко К.А., Ларина В.Ю.	
ERP-системы: обсуждение роли и преимуществ ERP-систем для комплексного управления строительными проектами, ресурсами и финансами.....	169
Щетинин Б.О., Погореленко К.А., Харин И.В.	
Перспективы использования цифровых технологий (BIM, ERP) в строительной отрасли.....	173
Щетинин Б.О., Погореленко К.А.	
Программные решения для автоматизации управления строительными проектами: обзор современных платформ и систем контроля.....	176
Alselmi O.A.	
Analysis and prevention of defects in monolithic concrete construction	179
Прогрессивные организационно-технологические решения в строительстве	
Александрова А.А.	
Перспективы развития комплектно-объемно-блочного метода строительства в контексте устойчивого городского жилья.....	188
Андрійчук М.В., Моторыкина А.А., Левшин А.М.	
Повышение эффективности конструкций навесных вентилируемых фасадов.....	192
Бородачев Д.М.	
Совершенствование организационно-технологических решений при выборе рационального метода строительства подводных переходов магистральных трубопроводов.....	197
Быстров Д.В	
Совершенствование контроля качества монолитных работ: от визуального осмотра к цифровому прогнозированию.....	202
Дербенев А.С.	
Развитие индивидуального жилищного строительства в условиях стесненной городской застройки на примере компании ООО «КЛЮЧ».....	208
Евдокимов А.Ю., Кувшинова А.С.	
Контроль качества в строительстве.....	218
Жерновая Д.А.	
Анализ расхода электроэнергии при использовании различных методов твердения бетонной смеси	221
Зайка М.А.	
Влияние международного опыта по сокращению сроков строительства на российский рынок недвижимости.....	224

Закиров С.М.

Проблемы организации строительства двухуровневого подземного паркинга в историческом районе города Санкт-Петербурга..... 229

Коломиец М. Р., Бессонова А. В.

Эргономика кухонных гарнитуров..... 242

Котенев А.Н., Еремин В.О.

Обзор технологий строительства подземных этажей и дополнительных подземных этажей в существующих зданиях..... 246

Котенев А.Н., Левшин Д.Э.

Внедрение 3D-печати в процесс строительства дополнительных подземных этажей в существующих зданиях..... 253

Кочерженко А. А., Пашков Г.А., Половченя Е.М.

Современные конструктивно-технологические решения возведения сетчатых куполов..... 258

Кочерженко А. А., Пашков Г.А., Половченя Е.М.

Освоение подземного пространства в городах со сложным рельефом..... 263

Ларин Д.А.

Основные требования экологической безопасности и рекомендации по соблюдению норм охраны окружающей среды при разработке стройгенплана.... 265

Левыкин Д.А.

Организация строительства линейных объектов при применении системы 3D-нивелирования..... 268

Малкина О.А.

О необходимости благоустройства зон отдыха на автомобильных дорогах..... 273

Махонин В.Л.

Основные дефекты и повреждения монолитных железобетонных фундаментных плит вследствие ошибок строительства..... 277

Николаев М. А., Василец Д. Ф.

Ограждение котлованов в условиях сложных грунтов Санкт-Петербурга используя метод «стена в грунте»..... 281

Ньямитамбу М.

Варианты узлов сопряжения монолитного перекрытия со сборными колоннами для сборно-монолитного каркаса..... 285

Радионов Д.А.

Перспективы интеграции металлоконструкций в массовую жилищную застройку..... 290

Сагитдинов М.Р.

Оптимизация управления строительными отходами на основании сроков строительства с использованием современных методов и цифровых инструментов..... 295

Скирдин Д. С.

Иновации в древесно-сырьевой промышленности..... 300

Смулярова В.С., Володина Е.В., Рудакова С.Р.

Технология усиления строительных конструкций углепластиком..... 304

Степанов А.С., Дмитриев А.И., Володина Е.В.

Методы возведения фундаментов в сейсмических районах разных стран..... 307

Толмачев М.Ю.

Обоснование рациональной технологии монтажа большепролетных оболочек положительной гауссовой кривизны..... 312

Фоменко О.С.

Расчет сжатых стержневых железобетонных колонн прямоугольного и круглого сечения из углеволокна..... 317

Хурчак Ю.А.

Цифровые технологии в операционном контроле качества строительства..... 321

Шаповалов М.М., Артемова К.А., Трошкина В.Б.

Тактильный урбанизм: как AR и IOT помогают создавать инклюзивную среду для людей с ограниченными возможностями еще на этапе проектирования..... 327

Шаповалов М.М., Артемова К.А., Трошкина В.Б.

Концепция Construction-as-a-Service: трансформация парадигмы в архитектурно-строительном комплексе..... 332

Шаповалов М.М., Артемова К.А., Трошкина В.Б.

Вертикальные города-сады: архитектурно-экологические решения для интеграции агроферм и экосистем в высотные здания..... 338

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник докладов опубликован по результатам X Международного строительного форума молодых ученых – 2025, который состоялся 25 ноября 2025 года в БГТУ им. В.Г. Шухова.

Организатором строительного форума среди молодых ученых является кафедра строительства и городского хозяйства.

Работа X Международного строительного форума молодых ученых – 2025 включала основные направления:

- современные конструкции и расчетные методики зданий и сооружений
- информационное моделирование строительства
- прогрессивные организационно-технологические решения в строительстве
- техническая эксплуатация и мониторинг технического состояния зданий и сооружений
- ресурсосбережение, обеспечение надежности и долговечности зданий и сооружений
- материаловедение и нанотехнологии в строительстве
- управление жизненным циклом объектов строительства

Форум объединил свыше 150 молодых ученых из вузов России и других стран, в их числе:

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

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

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

Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

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

Хулунбуирский университет, г. Хулунбуир, Китай

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

Оргкомитет

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДИКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Абуизенх Ю. К. И., аспирант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Тамов М.М.

*Кубанский государственный технологический
университет, г. Краснодар, Россия*

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ CDP ДЛЯ СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

За последние три десятилетия был достигнут значительный прогресс в исследованиях свойств и практическом применении сверхвысокопрочного бетона (СВПБ, англ.) – высокотехнологичного материала на цементной основе [1]. От других видов бетона СВПБ отличается низкой пористостью, а также улучшенными механическими и эксплуатационными характеристиками [2]. Это композитный материал с низким водоцементным отношением, включающий мелкий заполнитель, суперпластификатор, цемент и другие вяжущие материалы, при этом его прочность на сжатие, как правило, превышает 120 МПа. Для повышения пластичности и прочности при растяжении в составы СВПБ вводят различные фибры.

Одним из универсальных программных комплексов для конечно-элементных расчетов железобетонных конструкций является ABAQUS Fea. Для описания поведения бетона в ABAQUS используется модель пластического деформирования с накоплением повреждений (Concrete Damage Plasticity, сокр. CDP). Впервые предложенная Люблинером в 1989 г. [3], впоследствии эта модель была распространена Ли и Фенвесом [4] на случаи циклических и динамических нагружений. CDP представляет собой модель бетона с модифицированной поверхностью текучести Друкера – Прагера. Наряду с диаграммами деформирования бетона при сжатии и растяжении для модели CDP необходимо задавать величины следующих параметров: эксцентриситета ϵ , параметра вязкости μ , коэффициента формы девиаторного сечения K_c , отношения напряжений при равнозначном двухосном сжатии и при одноосном сжатии σ_{b0}/σ_{c0} и угла дилатансии ψ .

В табл. 1 приведены сведения из научных работ, в которых модель CDP была применена для моделирования контрольных образцов и конструкций, изготовленных из СВПБ (параметр K_c в таблицу не

включен, т.к. во всех рассмотренных работах был принят равным 2/3). Как видно, все параметры варьируются в достаточно широких пределах.

Таблица 1

Значения параметров модели CDP в научных исследованиях

Ист.	Параметр				Примечание
	ϵ	μ	$\frac{\sigma_{b0}}{\sigma_{c0}}$	$\psi, ^\circ$	
1	2	3	4	5	6
[5]	0 – 0,2	0	1,16 – 4,0	15– 55	Выполнено моделирование стандартных испытаний СВПБ на сжатие. Калибровкой подобраны значения параметров ϵ , ψ , σ_{b0}/σ_{c0} . Лучшие результаты получены при $\epsilon=0,1$ (значение по умолчанию), $\sigma_{b0}/\sigma_{c0} = 3,0$ и $\psi = 55^\circ$.
[6]	0,1	0	1,16	15	Работа содержит результаты численных исследований работы трех полноразмерных двутавровых СВПБ-балок на поперечную силу.
[7]	0,1	0	1,1	56	Выполнено моделирование стандартных испытаний СВПБ (Ductal [®]) на сжатие и растяжение. Параметры модели CDP подобраны калибровкой.
[8]	0,1	0	1,1	10	В работе исследована возможность расчетов СВПБ-конструкций при кратковременных динамических воздействиях с использованием модели CDP. Из всех параметров значительное влияние на результаты расчетов оказал только угол ψ . Наиболее близкими к опытам оказались результаты моделирования с $\psi = 10^\circ$. Авторы объясняют это тем, что СВПБ обладает плотной микроструктурой и, следовательно, получает меньшие объемные деформации в сравнении с обычным бетоном.
[9]	0,1	0	1,16	30	Выполнено моделирование стандартных испытаний на сжатие и растяжение образцов СВПБ с фиброй и без нее. Поведение СВПБ при осевом сжатии и растяжении описано четырехзвенными диаграммами состояния. Для параметров ϵ , μ , K_s , σ_{b0}/σ_{c0} и ψ приняты значения по умолчанию (без калибровки).
[10]	0,1	$1 \cdot 10^{-6} - 25 \cdot 10^{-4}$	1,16	30– 45	На примере моделирования тавровых СВПБ-балок произведена оценка влияния параметров μ и ψ на результаты расчетов. Повышение μ привело к росту расчетной несущей способности. С повышением ψ несущая способность также возрастала, но в меньшей степени.
[11]	0,1	0	1,16	33	Выполнено моделирование стандартных испытаний на сжатие и растяжение образцов СВПБ с разными типами фибр, а также СВПБ-колонн кольцевого сечения. Законы деформирования СВПБ при осевом нагружении описаны полиномами 4 и 6 степени.

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
[12]	0,1	$1 \cdot 10^{-4}$	1,16	39	Выполнено моделирование четырех СВПБ-балок, испытанных авторами. Две из них разрушились по нормальным сечениям, две другие – по наклонным.
[13]	0,1	0,01	1,07	36	Авторы провели численные исследования работы на поперечную силу серий балок, отличавшихся пролетами среза нагружения и параметрами армирования.
[14]	0,1	0	1,16	36	

Примечание: курсивом записаны значения параметров, установленные в программе по умолчанию.

Ввиду отсутствия достаточной экспериментальной базы, способной послужить обоснованием параметров модели CDP для СВПБ, нами выполнена оценка их влияния на результаты расчета на примере балки В-2 из работы Чена и др. [15]. Балка прямоугольного сечения 150×220 мм со средним содержанием дисперсного ($\mu_{fv} = 2\%$) и стержневого ($\mu_s = 2,75\%$) армирования. Прочность СВПБ на сжатие (кубы с размером ребра 150 мм) и осевое растяжение (образцы-восьмерки) составила соответственно 125,6 и 12 МПа. Значение модуля упругости СВПБ в [15] не приведено, поэтому оно было вычислено по рекомендациям из [16]. Значения параметров модели CDP при калибровке были приняты таким образом, чтобы охваченными оказались крайние значения из диапазонов, указанных в табл. 1: $\psi = 10$ и 56° , $\sigma_{b0}/\sigma_{c0} = 1,07$ и $4,0$, $\epsilon = 0$ и $0,2$, $\mu = 0$, $1 \cdot 10^{-6}$ и $1 \cdot 10^{-4}$. Как видно на рис. 1, повышение значения μ от 0 до $1 \cdot 10^{-4}$ привело к росту максимальной расчетной нагрузки на 8 % и соответствующего этой нагрузке прогиба на 48 %. При $\mu = 1 \cdot 10^{-4}$ расчетная разрушающая нагрузка оказалась наиболее близка к опытной. Наилучшая сходимость опытных и расчетных результатов достигается при этом значении $\mu = 1 \cdot 10^{-4}$ также и расчетами наших балок [17]. При $\mu = 0$ вязкопластичная регуляризация программой не производится, тогда как при назначении величины $\mu > 0$ пластические деформации и деградация жесткости материала представлены их вязкопластичными значениями [18]. Различия в результатах наших расчетов выявлены именно на завершающей стадии работы балок, характеризующейся пластичной работой бетона. Исходя из этого, для моделирования СВПБ целесообразно применять вязкопластичную регуляризацию модели CDP с $\mu = 1 \cdot 10^{-4}$.

Влияние параметров ϵ , σ_{b0}/σ_{c0} и ψ на расчетные диаграммы деформирования балок проявляется в незначительной мере и только на этапах нагружения, близких к разрушению. До нагрузки, составляющей около 60 % пика нагружения, диаграммы деформирования балок,

полученные при парах значений этих параметров, практически неразличимы. Из этого следует, что значения ϵ , σ_{b0}/σ_{c0} и ψ можно принять по аналогии с любым из рассмотренных в табл. 1 исследований без дополнительной калибровки модели.

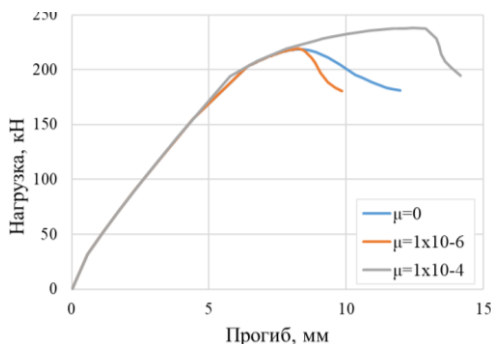


Рис. 1. Расчетные диаграммы деформирования балки В-2 из [15]

Проанализировано влияние основных параметров модели Concrete Damage Plasticity (CDP) на результаты конечно-элементных расчетов балок из сверхвысокопрочного бетона (СВВП). Показано, что среди параметров модели наибольшее влияние на результаты оказывает величина коэффициент вязкости μ . При $\mu = 1 \cdot 10^{-4}$ расчетные диаграммы деформирования балок в наибольшей степени соответствуют экспериментальным данным. Величины эксцентриситета ϵ , отношения напряжений σ_{b0}/σ_{c0} и угла дилатансии ψ оказывают заметное воздействие лишь при приближении к разрушающей нагрузке, и для них могут приниматься значения, установленные в программе по умолчанию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abellán-García J. Study of nonlinear relationships between dosage mixture design and the compressive strength of UHPC // Case Studies in Construction Materials. 2022. Vol. 17. e01228.
2. Kumar R., Rai B., Samui P. A comparative study of prediction of compressive strength of ultra-high performance concrete using soft computing technique // Structural Concrete. 2023. Vol. 24. No. 4. Pp. 5538– 5555.
3. Lubliner J., Oliver J., Oller S., Onate E. A plastic-damage model for concrete // Journal of Solids and Structures. 1989. Vol. 25, No. 3. Pp. 299– 326. DOI: 10.1016/0020-7683(89)90050-4.

4. Lee J., Fenves G. Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures // *Engineering Mechanics*. 1998. Vol. 124, No. 8. Pp. 892–900.
5. Fakeh M., Jawdhari A., Fam A. Calibration of ABAQUS concrete damage plasticity (CDP) model for UHPC material // *International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete Papers*. 2023. Vol. 3, No. 1. DOI: 10.21838/uhpc.16675.
6. Chen L., Graybeal B. Modeling Structural Performance of Ultrahigh Performance Concrete I-Girders // *Bridge Engineering*. 2011. Vol. 17.
7. Shafieifar M., Farzad M., Azizinamini A. Experimental and numerical study on mechanical properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC) // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 156. Pp. 402–411.
8. Othman H., Marzouk H. Applicability of damage plasticity constitutive model for ultra-high performance fibre-reinforced concrete under impact loads // *International Journal of Impact Engineering*. 2018. Vol. 14. Pp. 20–31.
9. Zhang Y., Xin H., Correia J. A. Fracture evaluation of ultra-high-performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) // *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 120. Pp. 1–21.
10. Jabbar A. M., Hamood M. J., Mohammed D. H. Impact of Dilation Angle and Viscosity on the Ultra-High Performance Concrete Behavior in Abaqus // *Proceedings of the 3rd International Conference on Advance of Sustainable Engineering and its Application*. 2021. Pp. 125–130.
11. Hashim D. T., Hejazi F., Voo Y. L. Simplified Constitutive and Damage Plasticity Models for UHPFRC with Different Types of Fiber // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2020. Vol. 14, No. 45
12. Solhmirzaei R., Kodur V. Modeling the response of ultra high performance fiber reinforced concrete beams // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 210. Pp. 211–219.
13. Dao C. B., Mai V. C., Vu N. Q., Pham H. Investigation of the shear behavior of ultra-high performance concrete girder by simulation approach // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2023. Vol. 1289.
14. Bahij S., Adekunle S., Al-Osta M., Ahmad S., Al-Dulaijan S., Rahman M. Numerical investigation of the shear behavior of reinforced ultra-high-performance concrete beams // *Structural Concrete*. 2017. Vol. 19, No. 2.
15. Chen S., Zhang R., Jia L. J., Wang J. Y. Flexural behaviour of rebar-reinforced ultra-high-performance concrete beams // *Magazine and concrete research*. 2017. Vol. 70, No. 19. Pp. 997–1015.

16. Graybeal B. A. Compressive Behavior of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete // ACI Materials Journal. – 2007. – Vol. 104, No. 2. – pp. 146–152.

17. Тамов М.М., Абуизеих Ю.К.И. Влияние коэффициента продольного армирования на характер работы балок из сверхвысокопрочного фибробетона. // Научные труды КубГТУ, 2025, №2. С. 56–71. DOI 10.26297/2312-9409.2025.2.6

18. Concrete damaged plasticity // ABAQUS Analysis User's Manual. –URL: <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usb/default.htm?startat=pt05ch18s05abm36.html> (дата обращения: 06.06.25).

**Андреяшкин Я.В., аспирант,
Репин А.В., магистрант,
Васильева А.А., студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Попова М.В.**

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

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИИ ЭПОКСИДНОГО КЛЕЯ С КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

Изучение совместной работы древесины и композитной арматуры началось относительно недавно. Прежде всего композитная арматура применялась в бетонных конструкциях. Среди ее преимуществ выделяют высокую коррозионную и химическую стойкость, низкую тепло- и электропроводность, низкий удельный вес и высокую удельную прочность [1]. Однако композитная арматура не лишена недостатков, как-то: низкий модуль упругости, низкая огнестойкость, невозможность гибки без хрупкого разрушения. Данные недостатки препятствуют использованию композитной арматуры в несущих бетонных конструкциях, и по большей части она применяется в конструкциях стяжек, отмосток и бетонных подготовок [2, 3].

Тем не менее, при изучении совместной работы композитной арматуры и древесины была установлена целесообразность композитного армирования деревянных балок по сравнению со стальным армированием [4]. Вклеенный стальной стержень под воздействием агрессивной среды подвергается коррозии, что вызывает разрушение клеевого шва и потерю совместной работы арматуры и древесины. Композитная арматура лишена данного недостатка,

благодаря чему она может быть наиболее предпочтительна для армирования древесины, чем стальная арматура. С 2020 г. проводились исследования работы композитных нагелей [5, 6] и арматурных стержней [7, 8] в деревянной балке.

Однако при исследовании работы клеевых соединений различных типов стержневой арматуры с древесиной было установлено, что композитная арматура имеет наименее прочную адгезию с эпоксидным клеем [9]. Композитный стержень имеет гладкую поверхность, образованную при затвердевании полимерной матрицы. В качестве полимера, как правило, используется эпоксидная смола. Из-за отсутствия шероховатостей на поверхности стержня при определенных касательных напряжениях по контакту «клей – арматура» происходит сдвиг арматуры относительно древесины, и их совместная работа нарушается.

Было проведено исследование различных способов повышения адгезии эпоксидного клея с композитной арматурой, не отличающихся высокой трудоемкостью [10]. Первым способом является нанесение покрытия из сыпучего материала мелкой фракции на эпоксидной смоле на поверхность композитного стержня с последующим отверждением. В качестве второго способа была предложена шлифовка поверхности стержня с образованием насечек глубиной не более 1 мм. Третий способ заключается в усилении клеевого состава отходами песчано-смоляных литейных форм. Последний из предложенных способов также предлагает решение по утилизации отходов, полученных при производстве отливок из металла.

Повышения адгезии было подтверждено экспериментальным исследованием. Опытные образцы представляли собой цельнодеревянный брусок длиной 200 мм и сечением 50×50 мм, по торцам которого в отверстие диаметром 11 мм были зацементированы арматурные стержни диаметром 8 мм на длину, равную десяти диаметрам стержня (80 мм). Материал бруска – древесина сосны II-го сорта естественной влажности. Класс композитной арматуры – АСК (арматура стеклокомпозитная). Типовой клеевой состав выполнялся из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ПЭПА и кварцевого песка фракции 0,55 мм в соотношении 100:12:300 массовых частей. Схема изготовления типового образца представлена на рис. 1.

Образцы были разделены на четыре серии по пять изделий. В качестве контрольных образцов БАС-0 приняты образцы без какой-либо модификации композитного стержня. Образцы серии БАС-1 соответствуют первому из вышеприведенных способов, серии БАС-2 – второму, серии БАС-3 – третьему.

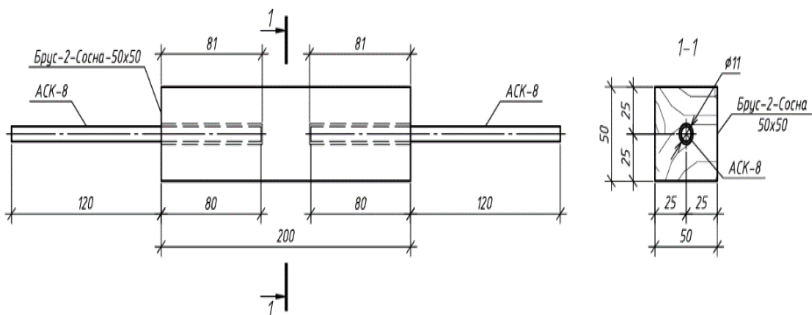


Рис. 1. Типовая схема изготовления образцов

Все образцы были подвергнуты испытанию на разрывной машине РЭМ-100. Свободные концы стержней зажимались при помощи механических захватов. Раздвижение захватов создавало нагрузку, вызывающую выдергивание стержней из тела древесины.

Испытание завершалось с потерей совместной работы древесины и арматуры. По визуальным результатам испытаний (рис. 2) обнаружилось, что разрушение клеевого соединения в образцах БАС-2 произошло по контакту «клей – древесина». На выдернутых стержнях в зоне заделки обнаружались остатки затвердевшей смолы. Тем не менее, имело место стесывание стержня с уменьшением фактического диаметра на 1-2 мм. Остальные образцы испытали разрушение клеевого шва по контакту «клей – арматура».

Таким образом, шлифовка поверхности стержня позволила достичь наиболее высокой адгезии эпоксидного клея с композитным стержнем, однако, за счет уменьшения расчетного диаметра арматуры.

По результатам испытания была определена нагрузка, вызвавшая выдергивание стержней из тела древесины. Эта нагрузка была проверена по формуле выдергивания вклеенных стержней в древесину по СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции»:

$$T = R_{sh} d_1 \pi l_{an} \left(1,2 - 0,02 \frac{l_{an}}{d} \right) m_d \prod_{i=1}^9 m_i, \quad (1)$$

где R_{sh} – прочность древесины на местное скалывание вдоль волокон; d_1 – диаметр отверстия; l_{an} – глубина заземления стержня; d – диаметр стержня; m_d – коэффициент длительной прочности, для линейной нагрузки принимаемый равным 1; $\prod_{i=1}^9 m_i$ – произведение коэффициентов условий работы по СП 64.13330.2017, в данном случае принимаемое равным 0,75 при естественной влажности древесины.

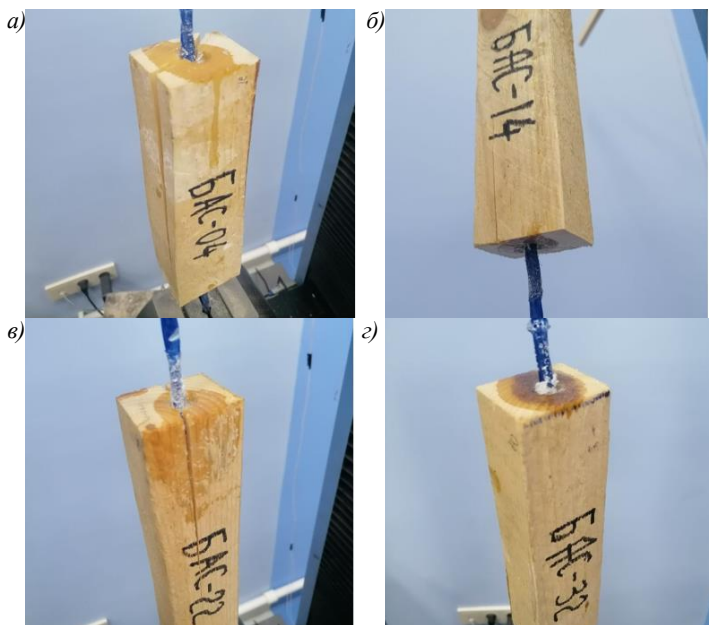


Рис. 2. Выдергивание арматуры из образцов серий:
а – БАС-0; б – БАС-1; в – БАС-2; г – БАС-3

Расчетная выдергивающая сила вычисляется для каждой серии дважды: при фактическом и расчетном диаметре стержня. Расчетный диаметр для образцов БАС-2 составляет 6 мм. Сравнение экспериментальных и расчетных значений представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение значений выдергивающей силы

Образцы	Выдергивающая сила, кН		
	экспериментальная	расчетная с фактическим диаметром	расчетная с расчетным диаметром
БАС-0	2,4	6,63	6,63
БАС-1	5,94	6,63	6,63
БАС-2	8,27	6,63	6,19
БАС-3	4,35	6,63	6,63

По таблице видно, что образцам БАС-2 соответствует наибольшая выдергивающая нагрузка с большим отрывом от образцов БАС-1. Кроме того, только у образцов БАС-2 экспериментальное значение выдергивающей силы превышает оба расчетных значения.

Для установления влияния каждого из изменяющихся факторов нужно определить аналитические коэффициенты из соотношения сил:

$$(T) = T_n m_f m_{adh} m_{red} = T m_f m_{adh}, \quad (2)$$

где (T) – экспериментальная сила; T_n и T – расчетная сила с фактическим и расчетным диаметром соответственно; m_f – коэффициент влияния композитной арматуры; m_{adh} – коэффициент влияния пути повышения адгезии, для образцов БАС-0 равный 1; m_{red} – коэффициент влияния стесывания композитной арматуры, для всех образцов, кроме БАС-2, равные 1.

По соотношению сил для образцов БАС легко находится единственное неизвестное m_f . Далее для образцов БАС-1...БАС-3 определяется коэффициент m_{adh} из правой части уравнения (2), и отдельно для образца БАС-2 – коэффициент m_{red} из средней части того же уравнения. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения аналитических коэффициентов

Образцы	Коэффициенты		
	m_f	m_{adh}	m_{red}
БАС-0	0,36	1	1
БАС-1	0,36	2,49	1
БАС-2	0,36	3,71	0,93
БАС-3	0,36	1,82	1

По результатам таблицы видно, что уменьшение диаметра стержня, вызванное стесыванием его поверхности в местах шлифовки, понижает адгезию клея с композитной арматурой. Тем не менее, эффект, достигнутый шлифовкой поверхности стержня, перекрывает действие стесывания поверхности. Поскольку эти два эффекта возникают совместно, то допускается объединить влияние коэффициентов m_{adh} и m_{red} путем их перемножения ($m_{adh}m_{red} = 3,71 \cdot 0,93 = 3,46$).

Шлифовка поверхности способна значительно увеличить адгезию эпоксидного клея с композитной арматурой. Однако уменьшение диаметра стержня приводит к потере прочности самого стержня, что уменьшает изгибную прочность всей конструкции. Более того, повреждение композитной арматуры не допускается при ее использовании в конструкциях, что прописано в нормах ГОСТ 31938-2022.

Таким образом, анализ путей повышения адгезии эпоксидного клея с композитной арматурой показал высокую эффективность шлифовки поверхности стержня, но и определил издержки этого способа. Более щадящими, но менее эффективными являются нанесение песчаного покрытия на стержень и усиление клеевого

состава отходами песчано-смоляных литейных форм. Все три способа дали ожидаемое увеличение адгезии и прочности клеевого соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыбакин С.В., Титунин А.В., Цветков Д.Ю. Армирование деревянных балок композитной арматурой // Современное строительство и архитектура. 2023. №3(34). С. 17-20.

2. Накашидзе Б.В., Накашидзе Д.-К.Г. Проблемы использования композитной арматуры в строительных конструкциях // Химия, физика и механика материалов. 2020. №3(26). С. 95-118.

3. Кузьмин Д.А., Ивасюк И.М., Тишков Е.В. Сравнение изгибаемых бетонных элементов, армированных стальной и стеклопластиковой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №12. С. 35-40.

4. Турковский С.Б. Погорельцев А.А., Стоянов В.О. Исследования составных деревянных балок с наклонно-вклеенными связями сдвига из стеклопластиковой арматуры // Строительство и реконструкция. 2018. №2(76). С. 67-75.

5. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В. Определение прогиба составных деревянных изгибаемых элементов, армированных цилиндрическими полимеркомпозитными нагелями // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. №5. С. 697-708.

6. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В., Пермяков С.В., Сулейманов А.М. Анализ работы цилиндрических полимеркомпозитных нагелей в деревянных составных изгибаемых элементах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. №3(65). С. 110-121.

7. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В. Определение напряженно-деформированного состояния деревянных изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой // Современное промышленное и гражданское строительство. 2024. Т. 20. №2. С. 63-73.

8. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В., Пермяков С.В. Усиление составных деревянных балок стеклопластиковыми изделиями // Инновации. Наука. Образование. 2021. №43. С. 929-934.

9. Андреяшкин Я.В. Комплексное исследование усиленного клеевого соединения древесины и арматуры // Инженерный вестник Дона. 2025. №9 (129). С. 405-412.

10. Андреяшкин Я.В. Повышение адгезии клея со стеклопластиковой арматурой // Инженерный вестник Дона. 2025. №9 (129). С. 413-420.

Городков Г.Д., студент,
Гущин Д.А., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Овсянников С.И.

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

КУПОЛЬНЫЕ СТРОЕНИЯ: АРХИТЕКТУРА, СИНТЕЗИРУЮЩАЯ ФОРМУ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

В данной статье рассматриваются актуальные тенденции развития купольной архитектуры. Проанализированы ключевые преимущества сферических конструкций, включая их исключительную прочность, энергоэффективность и ресурсосбережение. Особое внимание уделено современным материалам и технологиям возведения, а также потенциальным направлениям применения данных сооружений в условиях современного градостроительства и частного домостроения.

Архитектурная форма купола, известная человечеству на протяжении тысячелетий, в XXI веке обрела новое звучание. Благодаря развитию технологий и материалов, а также растущему интересу к устойчивому и экономичному строительству, купольные дома переживают настоящий ренессанс. Они перестали быть лишь объектом смелых архитектурных экспериментов и превратились в практичную, конкурентоспособную альтернативу традиционным прямоугольным зданиям. Данная статья посвящена комплексному анализу купольных строений как синтеза инновационной инженерии, экономической целесообразности и эстетической выразительности.

1. Инженерно-конструктивные особенности. Основой большинства современных купольных домов является геодезический купол – конструкция, представляющая собой пространственный каркас из соединенных в определенном порядке стержней, образующих сферическую поверхность. Такая структура обладает рядом уникальных свойств:

1) Высокая несущая способность. Равномерное распределение нагрузок по всей поверхности купола делает его чрезвычайно устойчивым к внешним воздействиям, включая снеговые покровы, ураганные ветры и даже сейсмическую активность. Прочность конструкции возрастает пропорционально увеличению нагрузки.

2) Экономия материалов. Для создания каркаса купола требуется значительно меньше (на 30-50 %) строительных материалов по

сравнению с классической коробчатой конструкцией аналогичной площади, что снижает как стоимость, так и экологический след объекта.

3) Оптимальная аэродинамика. Обтекаемая форма минимизирует сопротивление ветру, предотвращая образование зон избыточного давления и разрежения, что является частой причиной разрушения традиционных крыш.

2. Энергоэффективность и микроклимат. Сферическая форма купола является ключевым фактором его выдающихся теплотехнических характеристик.

1) Снижение площади ограждающих конструкций. При одинаковом внутреннем объеме купольное строение имеет меньшую площадь внешних стен и кровли, контактирующих с окружающей средой. Это напрямую сокращает теплопотери.

2) Естественная конвекция. Внутри купола отсутствуют «угловые зоны застоя», благодаря чему воздух циркулирует более равномерно. Это создает стабильный и комфортный микроклимат без резких перепадов температуры.

3) Пассивное использование солнечной энергии. Ориентация здания и расположенные светопрозрачные элементы позволяют максимально эффективно аккумулировать солнечное тепло в зимний период.

3. Современные материалы и технологии строительства. Развитие купольной архитектуры тесно связано с появлением новых композитных материалов и эффективных утеплителей. Каркасы современных куполов изготавливаются из клееного бруса, легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) или композитной арматуры. В качестве ограждающих конструкций широко применяются структурные теплоизоляционные панели (SIP), многослойные сэндвич-панели и технологии напыления пенополиуретана. Для отделки используются штукатурные составы, гибкая черепица и современные мембранные материалы. Процесс сборки часто напоминает конструктор, что позволяет осуществлять монтаж в сжатые сроки силами небольшой бригады.

1) Практическая значимость и области применения. Универсальность купольных конструкций обуславливает их широкий спектр применения:

2) Частное жилищное строительство: от компактных гостевых домиков до просторных коттеджей.

3) Общественные и коммерческие объекты: спортивные комплексы, бассейны, оранжереи, торговые павильоны, кафе.

4) Объекты туристической инфраструктуры: кемпинги, эко-отели.

5) Специальные сооружения: ангары, резервуары, научные станции в регионах с экстремальным климатом.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что купольные строения представляют собой перспективное направление в архитектуре, гармонично сочетающее в себе проверенные временем принципы формообразования и современные инженерные решения. Их ключевые преимущества – прочность, экономическая эффективность, высокая энергоэффективность и быстрота возведения – делают их адекватным ответом на вызовы современности, связанные с ресурсосбережением и устойчивым развитием. Дальнейшие исследования в области новых материалов и цифрового проектирования позволят еще больше расширить потенциал и повысить доступность данной строительной технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьева Н.А. (2014) “Купольные конструкции как способ реализации новых архитектурных идей”.

2. Дмитриева С.Л. (2010) “Развитие приемов решения купольных структур в архитектуре культовых сооружений Италии эпохи Ренессанса”.

3. Васильева Т.И. (2000) “Геологическое строение и история развития купольных структур Северного Приладожья”.

4. Щербакова П.С. (2023) “Монтаж купольных строений”.

5. 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.

6. Ovsyannikov S. INTERACTION OF A MOTOR UNIT WHEEL WITH A SUPPORT BASE / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019. 2020. С. 022078.

7. Радионов А.С., Овсянников С.И. Оценка теплоизоляционных свойств сборных панелей для купольных строений // в сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 272-276.

Жилин Д.А., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Фролов Н.В.**

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

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НАДЕЖНОСТИ ПО НАГРУЗКЕ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам обеспечения надежности зданий и сооружений на стадиях строительства и эксплуатации. Целью проектирования любого здания является обеспечение надежности применяемых конструкций. Для этого все конструктивные элементы просчитываются на действующие нагрузки и их сочетания. Нагрузка, которая действует всегда на любую конструкцию это нагрузка от ее собственного веса.

Целью исследования является нахождение фактического отклонения массы реальной конструкции от массы, применяемой в расчетах. Для этого была выбрана такая конструкция как металлическая ферма покрытия. Это связано с тем, что данная конструкция имеет определенное количество дополнительных элементов, необходимых для ее конструирования. И как правило в расчет зачастую берется только масса стержневых элементов, которая отличается от массы конечной монтируемой конструкции. Однако для повышения надежности и повышения точности расчетов на стадии проектирования здания следует во время расчета учитывать массу готового изделия. И так как в расчетных комплексах ферма представляет собой набор стержней, соединенных между собой в узлах, то учет действительной массы конструкции предполагается учитывать через коэффициент приведения массы. Данный коэффициент является результатом проведения численного исследования.

В действующих нормах для приведения нормативной нагрузки от собственного веса к расчетной используется коэффициент надежности для веса строительных конструкций γ_f . Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», коэффициент надежности для собственного веса металлических конструкций составляет 1,05. Он учитывает неоднородность материала и несовершенство готовых металлических изделий, то есть отклонение от той идеализированной массы, которую можно посчитать, умножив плотность металла на объем готового изделия.

Для проведения такого исследования были выбраны два программных комплекса. Для определения массы расчетной схемы конструкции используется ЛИРА-САПР. Для определения массы готовой конструкции применяется Tekla Structures, которая позволяет создать объемную 3D-модель с проработкой узлов крепления и сопряжения стержней между собой, и получить массу конструкции с учетом всех дополнительных элементов, которые не учитываются при создании расчетной схемы. Пример вывода массы стальной смоделированной стальной фермы представлен на рис. 1.

Ведомость металлопроката					Ведомость монтажных метизов					
Профиль	ГОСТ, ТУ	Масса нетто, кг	Масса брутто, кг	Марка стали	Наименование	ГОСТ, ТУ, ...	Кол.	Масса, кг	Масса 1000 шт, кг	Примечание
Двутавр 30К1	ГОСТ Р 57837-2017	1043.8	1043.8	C245	Болт М20х60	ГОСТ 7805-70	8	173	216.00	
Труба ПК 80х4.0	ГОСТ 32931-2015	233.0	233.0	C245	Болт М20х70	ГОСТ 7805-70	8	193	240.70	
Труба ПК 100х4.0	ГОСТ 32931-2015	397.4	397.4	C245			16			
Лист толщной 6 мм	ГОСТ 19903-2015	5.6	5.6	C245	Гайка М20	ГОСТ 5915-70	16	114	714.4	
Лист толщной 8 мм	ГОСТ 19903-2015	1.2	1.2	C245			16			
Лист толщной 12 мм	ГОСТ 19903-2015	5.4	5.4	C245	Шайба 20	ГОСТ 10371-78	24	0.41	17.16	
Лист толщной 16 мм	0	15.8	15.8	C245			24			
Лист толщной 20 мм	ГОСТ 19903-2015	88.8	88.8	C245						
Лист толщной 250 мм	ГОСТ 19903-2015	15.8	15.8	C245						
Итого:		1806.8	1806.8							

Рис. 1. Пример вывода массы элемента в Tekla Structures

Для исследования были выбраны фермы с наиболее распространенными сечениями, а именно фермы из замкнутых гнутосварных профилей (по серии 1.460.3-23.98) и фермы из спаренных уголков (по серии 1.460.2-10/88).

В фермах из ЗГСП стержни соединяются между собой посредством сварки, поэтому дополнительными элементами, увеличивающими массу, будут выступать элементы узлов опирания и элементы монтажного узла.

В случае ферм из парных уголков для соединения стержневых элементов между собой используются стальные пластины, которые также влияют на итоговую массу фермы.

Поэтому предполагается, что для ферм из парных уголков, ввиду большего количества дополнительных элементов, значение коэффициента приведения массы будет больше, следовательно, будет больше влиять на расчет.

После проведения моделирования информационных моделей в составлены сводные таблицы с указанием массы фермы, полученной в каждом из комплексов.

Массы для ферм из ЗГСП приведены в табл. 1.

Массы для ферм из парных уголков приведены в табл. 2.

Таблица 1

Сводная таблица масс ферм из ЗГСП

Марка фермы	Масса в Tekla Structures, кг	Масса в ЛИРА-САПР, кг	Отклонение в %
ФС-18-2,2	867	733	15,45
ФС-18-3,1	992,6	854	13,96
ФС-18-3,6	1129,4	992	12,17
ФС-24-2,0	1321	1176	10,98
ФС-24-2,4	1319	1370	9,81
ФС-24-2,9	1730,8	1582	8,60
ФС-24-3,3	2003	1854	7,44
ФС-24-3,7	2178	2028	6,89
ФС-30-1,7	1978,5	1788	9,63
ФС-30-2,0	2239,7	2002	10,61
ФС-30-2,3	2551	2324	8,90
ФС-30-2,6	2698,2	2474	8,31

Таблица 2

Сводная таблица масс ферм из парных уголков

Марка фермы	Масса в Tekla Structures, кг	Масса в ЛИРА-САПР, кг	Отклонение в %
ФСН-18-21	1413,6	1210	14,40
ФСН-18-33	1660,6	1368	17,62
ФСН-18-46	1831,0	1542	15,78
ФСН-24-18	2287,0	1862	18,58
ФСН-24-24	2438,0	2030	16,74
ФСН-24-31	2860,8	2410	15,76
ФСН-24-42	3494,2	2948	15,63
ФС-30-21	2822,6	2562	9,23
ФС-30-29	3434,6	3220	6,25
ФС-30-39	4289,4	4032	6,00

В ходе проведения исследования были построены расчетные модели и 3Д-модели выбранных металлических ферм. Для ферм из замкнутых гнутосварных профилей были выполнены расчетные и информационные модели для 12 ферм. Для ферм из парных уголков расчетные и информационные модели были выполнены для 10 ферм. Для каждой из ферм была представлена информация об итоговой массе, полученной в каждом программном комплексе. Для каждого образца представлена таблица ведомости металлопроката, полученная автоматическим путем в программном комплексе Tekla Structures на основании данных, содержащихся в информационной модели. Все полученные результаты масс стальных ферм были объединены в сводные таблицы для каждого типа ферм, где для фермы каждой марки приводятся значения массы ее расчетной и информационной моделей. Диапазон отклонения от расчетной массы составил для ферм из ЗГСП от 15,45 % до 8,31 %. Для ферм из ЗГСП отклонение массы составило от 18,58 % до 6,00 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зинькова В.А., Солодов Н.В. Исследование напряженно-деформированного состояния бесфасончных узлов трубчатых ферм // Современные проблемы науки и образования. 2013. - №6. – С.32-46.
2. Соболев Ю.В., Мухин А.В. Некоторые вопросы расчета узлов трубчатых ферм из замкнутых гнутосварных профилей // Расчет строительных конструкций и сооружений. – М., 1983. – С.140-147.
3. Мухин А.В. Напряженно деформируемое состояние узлов ферм из замкнутых гнутосварных профилей: дисс. ...канд. техн. наук: 05.23.01. -М., 1984. -2014 с.
4. Левитанский И.В. О проектировании ферм покрытий промышленных зданий из круглых и прямоугольных труб / И.В. Левитанский // Легкие металлические конструкции промышленных зданий. – М., 1975. – С. 88-104.
5. Перков В. Е., Наумкина Ю. В. Оптимизация конструктивного решения металлической стропильной фермы по критерию массы // ИВД. 2022. №5 (89).
6. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. 319 с.
7. Лесовик Р.В., Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых металлических конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. №3. С.6-9.

**Жукова Н.А., магистрант,
Зенина Ю.С., магистрант**

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Тумаков С.А.

*Ярославский государственный технический
университет, г. Ярославль, Россия*

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ РЕДУЦИРОВАНИЯ

В настоящее время применение металлических конструкций в покрытиях общественных зданий приобретает все большую популярность, это обусловлено рядом преимуществ, таких как высокая прочность, надежность и скорость возведения.

При проектировании настила с использованием легких тонкостенных конструкций актуальной задачей становится оптимизация расхода материалов без ущерба для его прочностных

характеристик и надежности проектных решений. Эффективным методом решения данной проблемы является учет редуцирования геометрических характеристик профилированного настила. Расчет с учетом редуцирования позволяет учесть влияние локальных зон потери устойчивости сечения, избежать избыточной прочности, что, в свою очередь, минимизирует риск перерасхода материала и гарантирует необходимую надежность конструкции.

Рассматриваемым объектом является спортивный комплекс, находящийся в городе Ярославль, по ул. Проектируемой. В научной работе были разработаны конструктивные решения покрытия блока с плавательным бассейном.

Покрытие состоит из стропильных ферм с уклоном 6° и пролетом 26,2 м, расположенных с шагом 6 и 6,2 м. По результатам расчетов стальные фермы запроектированы из сварных гнутых квадратных профилей.

По верхнему поясу ферм выполнено опирание профилированного настила Н114-750-0,8 по ГОСТ 24045-2016 [1]. Расчет производился по однопролетной схеме загрузки, длиной 6 м. Для обеспечения жесткости и устойчивости каркаса по верхнему поясу ферм запроектированы горизонтальные связи и распорки, а также для раскрепления из плоскости фермы установлены вертикальные связи.

Схема расположения конструкций покрытия блока спортивного комплекса с плавательным бассейном показана на рис. 1.

Расчет редукции сечений за счет участков, теряющих местную устойчивость, выполнен в соответствии с СП 260.1325800.2016 [2] и СП 294.1325800.2017 [3].

По результатам расчетов было получено эффективное поперечное сечение, представленное на рис. 2.

На основе полученного сечения профиля были рассчитаны основные геометрические характеристики настила с учетом редукции с помощью программного модуля Тонус, указанные в табл. 1.

Редуцирование участков сечения профнастила влечет за собой снижение момента сопротивления. Поэтому необходимо выполнить проверку выполнения условия 1:

$$\frac{M}{W_{min} \cdot R_y} \leq 1, \quad (1)$$

где M – расчетное значение изгибающего момента в рассматриваемом сечении; W_{min} – минимальный расчетный момент сопротивления в рассматриваемом сечении; R_y – расчетное сопротивление изгибу.

Максимальный момент составляет:

$$M = \frac{2,62 \cdot 6^2}{8} = 11,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

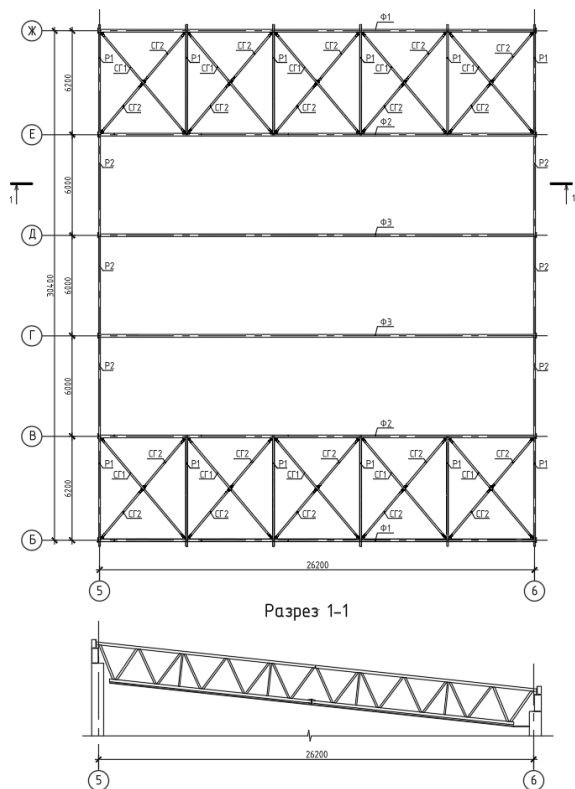


Рис. 1. Схема расположения конструктивных элементов покрытия

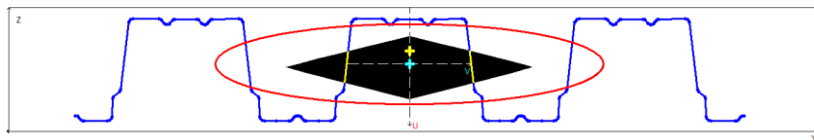


Рис. 2. Схема эффективного поперечного сечения профилированного настила

Таблица 1

**Редуцированные геометрические характеристики
профилированного настила**

Обозначение профиля	Справочные значения на 1 м ширины при сжатых полках					
	узких			широких		
	$I_x, \text{см}^4$	$W_{x1}, \text{см}^3$	$W_{x2}, \text{см}^3$	$I_x, \text{см}^4$	$W_{x1}, \text{см}^3$	$W_{x2}, \text{см}^3$
Н114-750-0,8	259,99	41,20	54,30	169,29	28,11	31,40

Примечание: I_x и W_x определены с учетом t_{red} элементов жесткости.

При раскладке настила узкой полкой вниз при однопролетной схеме настила в месте возникновения максимального момента сжатыми являются узкие полки. В расчет берем $W_{min} = W_x = 41,2 \text{ см}^3$ [1].

$$\frac{M}{W_{min} \cdot R_y} = \frac{11,8}{41,2 \cdot 10^{-6} \cdot 245 \cdot 10^3} = 1,17 > 1.$$

Условие не выполняется, поэтому для обеспечения несущей способности требуется перейти к профнастилу марки Н153-840-1,0 с моментом сопротивления $W_{min} = W_x = 54 \text{ см}^3$ [1].

$$\frac{M}{W_{min} \cdot R_y} = \frac{11,8}{54 \cdot 10^{-6} \cdot 245 \cdot 10^3} = 0,89 < 1.$$

Условие выполняется, что показывает способность настила выдержать заданные нагрузки. В этом случае мы получаем надежное решение конструкции кровли, направленное на минимизацию рисков, которое позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24045-2016 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. – 22 с.
2. СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования. - М: Минстрой России, 2016. – 124 с.
3. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования (с Изменениями № 1, № 2 и №3). - М.: ФГБУ "РСТ", 2023. – 182 с.
4. Научно-технический отчет по теме: Разработка изменений в СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования. – ЦНИИПСК им. Мельникова, 2018. – 95 с.
5. Зенина, Ю. С. Определение редуцированных геометрических характеристик стального профилированного настила / Ю. С. Зенина, Н. А. Тестова // Архитектура и строительство: традиции и инновации: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 19 декабря 2024 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель: БелГУТ, 2025. – С. 99-102. – EDN OVJNJQ.

Зеленый М.И., студент,
Померанцев С.Н., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Тумаков С.А.

*Ярославский государственный технический
университет, г. Ярославль, Россия*

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ СВОБОДНОМ СОПРЯЖЕНИИ С РОСТВЕРКАМИ

В настоящее время в малоэтажном строительстве широко применяются различные виды свай малого сечения, что обусловлено простотой и скоростью их погружения, достаточностью прочностных характеристик этих свай для восприятия эксплуатационных нагрузок.

Целью работы является изучение несущей способности забивных свай малого сечения размером 200×200 мм с высоким и низким ростверками при их свободном сопряжении в различных грунтовых основаниях. В работе приведены результаты численного исследования несущей способности по прочности забивных железобетонных свай квадратного сечения размером 200×200 мм.

Забивные железобетонные сваи малого сечения хорошо известны. Сваи с размером сечения 200×200 мм были представлены в типовой документации [1]. Однако, условия использования этих свай, указанные в источнике не в полной мере, учитывают конструктивные особенности сопряжения свай с ростверком и грунтовые условия, в которых эти сваи устраиваются. Поэтому научные исследования в области применения забивных железобетонных свай малого сечения продолжают и в настоящее время. Результаты натурных испытаний таких свай представлены в работах [2, 3]. Авторы выполненного исследования показали, что в определенных грунтовых условиях строительной площадки, особенно в глинистых грунтовых основаниях, возможны расхождения между фактической несущей способностью сваи малого сечения по грунту и несущей способности, найденной расчетными способами. Численные исследования поведения основания, укрепленного железобетонными сваями, освещено в работе [4]. Решена задача моделирования укрепленного основания сваями в программном комплексе с учетом влияния соседних свай. Техничко-экономические вопросы применения свай малого сечения освещены в исследовании [5]. На основе сравнительного анализа технико-экономических показателей демонстрируется, что использование малого сечения позволяет значительно снизить материалоемкость (расход бетона и стали), трудозатраты и стоимость строительства. Представленные данные

показывают снижение приведенных затрат на 42,4 %, себестоимости на 40,67 %, а также сокращение расхода материалов в 1,5–3,5 раза.

В Ярославской области сваи малого сечения нашли применение в малоэтажном строительстве. Только в Ярославле расположено около десяти предприятий, которые оказывают услуги по изготовлению и погружению забивных железобетонных свай сечением 150×150 мм и 200×200 мм. Большая часть реализованных решений свай имеет свободное сопряжение сваи с высоким ростверком (рис. 1).



Рис. 1. Свайный фундамент с высоким ростверком

При расчете сваи по прочности материала, она считается стержневым элементом, который защемлен в грунте на расстоянии l_1 :

$$l_1 = l_0 + \frac{2}{\alpha_\varepsilon}, \quad (1)$$

где l_0 – длина участка сваи от подошвы высокого ростверка до уровня планировки грунта, м, при низком ростверке $l_0 = 0$; α_ε – коэффициент деформации, 1/м, вычислялся по стандартной формуле [6]:

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{K b_p}{EI}}. \quad (2)$$

Проверка прочности материала сваи по выполняется по формуле из [7] как для внецентренно-сжатого элемента:

$$N \cdot e \leq R_b \cdot b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s (h_0 - a'). \quad (3)$$

Несущая способность вычислялась при помощи электронных таблиц, позволивших ускорить процесс расчетных операций. Рассмотрены сваи из бетона классов В20, армированные четырьмя продольными стержнями из арматуры А400 диаметром 10 мм или четырьмя продольными стержнями из арматуры А500 диаметром 8 мм. Начальный модуль упругости бетона сваи для бетона класса прочности В20 принят $E = 27,5 \cdot 10^6$ кПа по [7].

Расчет производился для случая свободного сопряжения сваи с ростверком. Рассматривались два варианта конструктивного решения ростверка – низкий ростверк и высокий ростверк с $l_0 = 1$ м. Свойства грунтов учитывались коэффициентом пропорциональности K , выбранные значения которого характерны для распространенных типов грунта в Ярославской области.

В результате расчета прочности забивной железобетонной сваи сечением 200х200 мм свободно сопряженной с низким ростверком получены графики оценки несущей способности (рис. 2) для грунтов с коэффициентом пропорциональности $K = 1350$ кН/м⁴.

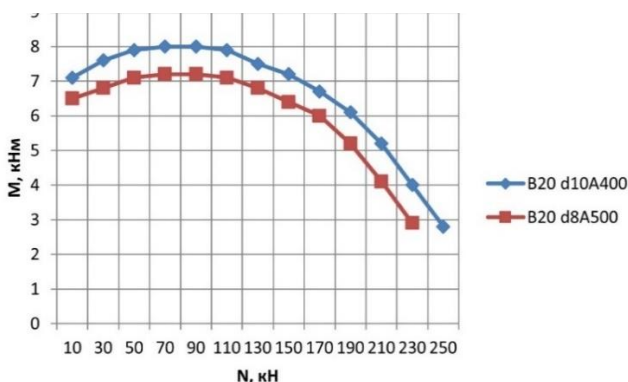


Рис. 2. Оценочные графики несущей способности сваи со свободным сопряжением низким ростверком

В результате расчета прочности забивной железобетонной сваи сечением 200×200 мм свободно сопряженной с высоким ростверком с $l_0 \geq 1$ м установлено, что при наличии в расчетной зоне грунтов с коэффициентом пропорциональности $K < 1700$ кН/м⁴ величина гибкости сваи превышает предельное значение. В этом случае в проектных решениях свайных фундаментов следует либо применять жесткое сопряжение сваи сечением 200х200 мм с ростверком, либо увеличивать сечение сваи. При расположенных в расчетной зоне грунтах с коэффициентом пропорциональности $K = 1700$ кН/м⁴ получены графики для оценки несущей способности для $l_0 = 1$ м (рис. 3).

По результатам выполненного исследования получены оценочные графики несущей способности забивных железобетонных свай сечением 200×200 мм свободно сопряженных с низким ростверком для грунтов с коэффициентом пропорциональности $K = 1350$ кН/м⁴ и с высоким ростверком с $l_0 = 1$ м для грунтов с коэффициентом пропорциональности $K = 1700$ кН/м⁴. Графиками можно пользоваться для предварительной оценки несущей способности свай.

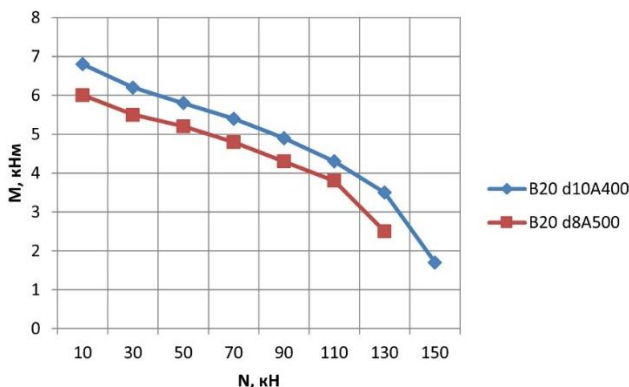


Рис. 3. Оценочные графики несущей способности свай со свободным сопряжением с высоким ростверком

Окончательное решение проектного свайного фундамента с забивными железобетонными сваями с малым сечением 200×200 мм следует принимать по результатам расчета несущей способности по материалу по формуле (3) по расчетным усилиям, определенных стандартным способом по [6] в зависимости от реальных грунтовых условий в расчетной зоне. Особое внимание при этом необходимо уделять на обеспечение требуемого условия [7] по ограничению гибкости свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серии 1.011.1-10 Сваи забивные железобетонные, выпуск 1, часть 1. Сваи цельные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. Рабочие чертежи. М. Госстрой СССР. 1989. 150 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293848/4293848772.pdf> (дата обращения 05.10.2025)
2. Кравцов В. Н. Исследование предельных состояний по несущей способности и деформациям глинистых оснований коротких готовых (забивных) свай малого поперечного сечения при их вдавливании и выдергивании // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 65-74.
3. Кравцов В. Н., Лапатин П. В. Сваи малого поперечного сечения для фундаментов малоэтажных зданий, упрочнения грунтов и их расчет // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 102-107.
4. Тумаков С. А., Голубь Г. Н. Оценка несущей способности железобетонной плиты пола цеха на армированном грунтовом основании // Умные композиты в строительстве. 2023. Т. 4, № 4. – С. 8-19.

5. Преснов О. М., Костылев П. Н., Лукина Л. А. Технико-экономическая целесообразность применения микросвай из железобетона для фундаментов малоэтажного домостроения // Экономические науки. – 2021. – № 196. – С. 124-127.

6. СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты. СНиП 2.02.03-85». М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 121 с.

7. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003. – М.: Минстрой России, 2019. – 118 с.

**Ларина В.Ю., студент,
Володина Е.В., студент,
Щетинин Б.О., студент**

**Научный руководитель: ст. преп.
Пириев Ю.С.**

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

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭТАЖНЫХ ДОМОВ ИЗ ПЕНОБЕТОНА

В современном малоэтажном строительстве пенобетон занимает одну из лидирующих позиций благодаря сочетанию теплоизоляционных свойств, относительно низкой плотности и приемлемой стоимости. Однако при проектировании зданий из этого материала важен более точный расчет прочности конструкций, обеспечивающий безопасность и долговечность сооружения. При возведении бескаркасных зданий с несущими стенами эффективно комбинируется сборный и монолитный пенобетон с другими строительными материалами. Такое техническое решение позволяет значительно оптимизировать процесс строительства [1].

Пенобетон - ячеистый бетон синтетического происхождения, получаемый путем введения пенообразователя в цементно-песчаную смесь [1]. Ключевые характеристики: плотность варьируется от 300 до 1200 кг/м³ в зависимости от марки [2]; прочность на сжатие от 0,5 до 12,5 МПа [1]; теплопроводность 0,08 до 0,38 Вт/(м·°С); паропроницаемость 0,11–0,26 мг/(м·ч·Па).

Важнейший параметр - класс по прочности на сжатие (В3,5–В12,5), определяющий несущую способность конструкций [2]. Для несущих стен малоэтажных зданий применяют пенобетон классов не ниже В 2,5.

Методика расчета прочности стен из пенобетона:

1. Расчет по предельным состояниям. Согласно СП 20.13330.2016, расчет ведется по двум группам предельных состояний [5].

Первая группа (потеря несущей способности):

$$N \leq \phi \cdot R_b \cdot A, \quad (1)$$

где N – расчетная продольная сила; ϕ – коэффициент продольного изгиба; R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию; A – площадь сечения.

Вторая группа (недопустимые деформации):

$$f \leq f_u, \quad (2)$$

где f – фактический прогиб; f_u – предельно допустимый прогиб.

2. Учет коэффициентов надежности. Применяются коэффициенты: γ_n – ответственности сооружения (1,0–1,2); γ_b – условия работы бетона (0,8–1,1); γ_c – условия эксплуатации (0,8–1,0) [5].

3. Расчет армирования. Для повышения прочности применяют арматурные сетки или каркасы. Площадь арматуры A_s определяют из условия:

$$N \leq R_b \cdot A_b + R_s \cdot A_s, \quad (3)$$

где R_s – расчетное сопротивление арматуры; A_b – площадь бетонного сечения [6].

Для пенобетонных домов чаще используют: ленточные монолитные фундаменты; плитные фундаменты; свайно-ростверковые конструкции. Определение осадки фундамента по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{E_i},$$

где β – коэффициент, принимаемый равным 0,8; $\sigma_{zp,i}$ – дополнительное напряжение; h_i – толщина слоя; E_i – модуль деформации [7]. Проверку на продавливание:

$$F \leq R_{bt} \cdot u \cdot h_0,$$

где F – продавливающая сила; R_{bt} – сопротивление бетона растяжению; u – периметр контура; h_0 – рабочая высота [7]. Практические рекомендации по проектированию. Толщина стен: для одноэтажных домов – не менее 300 мм, для двухэтажных – 400–500 мм. Армирование: каждые 3–4 ряда кладки, а также зоны над проемами. Перемычки: железобетонные или из U-блоков с армированием. Связи с перекрытиями: анкерные соединения с шагом не более 1 м [8].

При строительстве из пенобетона иногда допускают следующие ошибки: Недочет ползучести бетона → трещины через 2–3 года [3]. Недостаточное армирование → локальные разрушения при динамических нагрузках [6].

Расчет прочности пенобетонных конструкций требует комплексного подхода с учетом: физико-механических свойств

материала; всех типов нагрузок; коэффициентов надежности; особенностей армирования и сопряжений. Соблюдение нормативных требований (СП 63.13330, СП 20.13330) и использование современных методик расчета позволяют создавать безопасные и энергоэффективные малоэтажные здания из пенобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пириев Ю.С. Применение пенобетона в современном строительстве Материалы международной научной-технической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Научные технологии и инновации (XXIII научные чтения). г. Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019 г. – С. 90-93
2. ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».
3. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».
4. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
5. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
6. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81).
7. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
8. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. – М.: НИИЖБ, 2010.

Лимошенко В.А., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Дрокин С.В.

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

СУЩНОСТЬ РАСЧЕТА НА РЕЗОНАНСНОЕ ВИХРЕВОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ

Нагрузки и воздействия, возникающие при взаимодействии ветра со строительными конструкциями, по своей природе можно разделить на два типа [1]:

- воздействия, связанные с непосредственным действием на здания и сооружения максимальных для места строительства ветров;
- воздействия, вызывающие интенсивные аэроупругие и неустойчивые изгибные, крутильные и изгибно-крутильные колебания.

Воздействия первого типа называются расчетной ветровой нагрузкой, и она подразделяется на среднюю и пульсационную составляющие.

К колебаниям второго типа относятся различные формы аэродинамической неустойчивости сооружений (в частности, применительно к высоким зданиям это может быть галопирование и дивергенция), а также колебания, связанные со срывом вихрей с внешней поверхности сооружений и приводящие к резонансному вихревому возбуждению сооружения на одной из его собственных частот. Колебания этого типа могут возникнуть в зданиях и сооружениях, высота которых значительно превышает их поперечный размер. В связи с этим соответствующие воздействия не учитываются при проектировании невысоких зданий.

Таким образом, при проектировании высоких зданий, а также некоторых сооружений необходимо учитывать следующие воздействия ветра [2]:

- среднюю и пульсационную составляющие расчетной ветровой нагрузки;
- пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения;
- резонансное вихревое возбуждение;
- аэродинамические неустойчивые колебания типа галопирования и дивергенции;

Резонансное вихревое возбуждение учитывается при оценке прочности (в том числе и усталостной) и долговечности несущих конструкций зданий и сооружений. На стадии проектирования необходимо разрабатывать такие проектные решения конструкций, которые не только исключают появление дефектов в процессе их изготовления, монтажа и эксплуатации, но и позволяют ресурсоемко использовать выбранные материалы. Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности строительства является применение ресурсосберегающих изделий и конструкций [3]. Определение ожидаемого уровня надежности объекта позволяет критически подойти к контролю качества и предупредить возникновение аварийного состояния.

Механическая усталость определяется как процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений (деформаций), приводящих к изменению его строения и свойств, образованию и развитию трещин и к разрушению.

Обычно различают малоцикловую и многоцикловую усталость. При малоцикловой усталости, окончательное разрушение происходит примерно после 10^3 циклов и менее. При многоцикловой усталости разрушение происходит после 10^3 - 10^9 циклов [4].

Поверочный расчет на резонансное вихревое возбуждение необходимо проводить для зданий и сооружений, в которых отношение высоты к их поперечному размеру превышает 20. Часто под это условие попадают такие сооружения как дымовые трубы, мачты, колонны,

трубопроводы, состоящие из металлических профилей различного сечения.

Возникновение резонансного вихревого возбуждения возможно в том случае, если критические скорости ветра $V_{cr,i}$ превышают максимальные скорости ветра V_{max} на уровне $z_{эк}$ (для зданий и башенных сооружений с плавно изменяющейся формой поперечного сечения, а также труб и мачт без оттяжек $z_{эк} = 0,8h$).

Критические скорости ветра $V_{cr,i}$, м/с, при которых происходит резонансное вихревое возбуждение по i -й собственной форме колебаний, определяются по формуле:

$$V_{cr,i} = \frac{k_v f_i d}{S_t},$$

где f_i , Гц – собственная частота колебаний по i -й изгибной собственной форме. Значение этой частоты может быть получено при расчете сооружения в программных комплексах; d , м – поперечный размер сооружения; S_t – число Струхала поперечного сечения, определяемое экспериментально или по справочным данным (для круглых поперечных сечений принимают $S_t = 2$);

Значение коэффициента k_v , учитывающего эффект захвата собственной частоты колебаний, выбирается из диапазона $0,9 < k_v < 1,1$ из условия реализации наихудшего варианта нагружения.

Значение максимальной скорости ветра V_{max} определяется по формуле 11.13 СП 20.13330.2016 и зависит от ветрового района строительства.

После выполнения условия $V_{cr,i} > V_{max}$ необходимо определить ветровые нагрузки, действующие на сооружение.

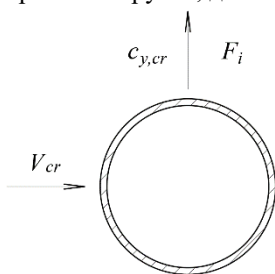


Рис. 1. Определение критических скоростей ветра и аэродинамических сил при резонансном вихревом возбуждении

Интенсивность воздействия $F_i(z)$, Н/м, действующего при резонансном вихревом возбуждении в направлении, перпендикулярном средней скорости ветра (рис. 1), определяется по формуле:

$$F_i(z) = 0,61\pi V_{cr,i}^2 c_{y,cr} \varphi_i(z) d / \delta,$$

где d , м – поперечный размер сооружения, в направлении, перпендикулярном средней скорости ветра; $c_{y,cr}$ – аэродинамический коэффициент поперечной силы при резонансном вихревом возбуждении, определяемый по приложению В2.2 СП 20.13330.2016; δ – логарифмический декремент колебаний (для металлических сооружений принимается равным 0,05); $\varphi_i(z)$ – i -я форма собственных колебаний в поперечном направлении.

При расчете сооружения на резонансное вихревое возбуждение наряду с воздействием $F_i(z)$ необходимо учитывать также действие ветровой нагрузки, параллельной средней скорости ветра. Средняя $w_{m,cr}$ и пульсационная $w_{p,cr}$, составляющие этого воздействия, определяются по формулам:

$$w_{m,cr} = \left(\frac{v_{cr,i}}{v_{max}} \right)^2 w_m;$$

$$w_{p,cr} = \left(\frac{v_{cr,i}}{v_{max}} \right)^2 w_p,$$

где w_m, w_p – расчетные значения средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки, определяемые в соответствии с указаниями 11.1 СП 20.13330.2016.

Для предотвращения резонансного вихревого возбуждения могут быть использованы различные конструктивные мероприятия: установка вертикальных и спиралевидных ребер, перфорация ограждения и установка соответствующим образом настроенных гасителей колебаний.

Суммарные напряжения, усилия и перемещения при резонансном вихревом возбуждении по i -й форме собственных колебаний определяются по формуле [5]:

$$X_i = \sqrt{X_{cr,i}^2 + (X_m + X_p)^2},$$

где $X_{cr,i}, X_m, X_p$ – напряжения, усилия и перемещения от воздействий $F_i, w_{m,cr}, w_{p,cr}$.

Расчет суммарных напряжений, усилий и перемещений при резонансном вихревом возбуждении необходим для оценки поведения сооружений под воздействием ветровой нагрузки, помимо этого, возможно произвести расчет усталостной прочности и долговечности, оценку физиологического комфорта людей в многоэтажных домах, а также правильную оценку целесообразности установки динамических гасителей колебаний на конструкции и оценку эффективности [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тямкин Е. Г., Юсуфова В. Т. Напряженно-деформированное состояние несущих вертикальных конструкций высотных зданий с учетом ветровой нагрузки / Аллея науки. – 2018. – Т. 1, № 2(18). – С. 362-365.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* - М.: Минстрой России, 2016. – 80 с.

3. Сулейманова Л. А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 1. – С. 9-16

4. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов – Москва: Металлургия, 1975. – 456 с.

5. Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве (МДС 20-1.2006) – документ, утвержденный приказом ФГУП «НИЦ „Строительство“» от 26 июля 2006 года №113.

6. Варибрус Д. С., Заикин Г. А. Методика расчета резонансной реакции сооружения на порывы ветра // Инновационная наука. – 2021. – №5. – С. 33-34.

Лимошенко В.А., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Крючков А.А.

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

АРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Строительная индустрия с каждым годом повышает требования к эффективности строительства, снижения сроков возведения, стоимости и экологичности принятых решений. Одним из наиболее перспективных инновационных направлений, способных радикально трансформировать отрасль, является аддитивное производство строительных конструкций, или 3D-печать зданий. Данная технология позволяет создавать сложные архитектурные формы послойным нанесением строительных материалов под компьютерным управлением [1].

Технология 3D-печати зданий обладает множеством преимуществ в сравнении с традиционными методами строительства. Одним из ключевых является возможность создания сложных геометрических форм с точностью и эффективностью, значительно сокращая время производства готового объекта. Этот ускоренный процесс не только повышает производительность, но и минимизирует трудозатраты, делая 3D-печать экономически выгодным решением для строительных проектов. Важным технологическим преимуществом 3D-печати является возведение здания непосредственно на строительной

площадке, минуя хранение конструкций в складах и сокращая расходы на транспортировку [2].

Послойное экструдирование – основной способ возведения зданий с помощью строительных 3D-принтеров (рис. 1). Это метод, при котором рабочее сопло (экструдер) выдавливает быстротвердеющую бетонную смесь с добавками, улучшающими характеристики будущей конструкции. Каждый очередной слой выдавливается поверх предыдущего, благодаря чему формируется определенная конструкция.

При аддитивной технологии строительства возникает вопрос армирования конструкций для обеспечения необходимой прочности и устойчивости элементов при действии различных нагрузок. Одним из наиболее эффективных способов решения этого вопроса является пространственное армирование бетонной смеси композитными фибрами. Выбор данного способа обоснован устройством экструдера 3D-принтера, который позволяет наносить подготовленную армированную смесь.

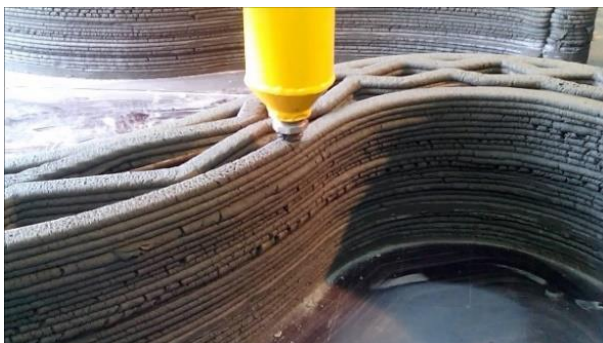


Рис. 1. Способ послойного экструдирования здания

Композитные материалы, такие как стеклопластиковые фибры, являются наиболее распространенными армирующими элементами в пространственном армировании бетона [3]. Полученный в результате стеклофибробетон имеет исключительно высокие технологические свойства при формировании изделий практически любой необходимой формы, обладает высокими показателями прочности при изгибе, большой ударной прочностью, упругостью, трещиностойкостью, водонепроницаемостью, а в необходимых случаях и декоративной поверхностью [4].

Пространственное армирование бетона композитными фибрами – это эффективный способ снижения образования трещин и повышения

прочности конструкций. Он широко используется при строительстве зданий и сооружений с помощью 3D-печати. Однако, для достижения наилучших результатов необходимо использовать высококачественные материалы и соблюдать требования к технологии армирования. Кроме того, известно использование быстротвердеющей бетонной смеси в качестве строительного материала, армированного стальной или полимерной микрофиброй. Для увеличения несущей способности и прочности стен могут также применяться различные виды армирования при помощи стальной арматуры.

Применение армирования металлической (стальной) арматурой является более трудоемким методом и может выполняться как в горизонтальном, так и вертикальном направлении. Вертикальная арматура устанавливается в технологические пустоты после печати контура стен с последующей заливкой бетоном (рис. 2). Горизонтальное армирование выполняется между слоями конструкции в процессе печати с использованием стальных прутков или плоских каркасов. Данный вид армирования достаточно прост в применении, однако имеет существенный недостаток – применение ручного труда может вызвать неточности установки, а также требует дополнительного времени на устройство армирования [5].

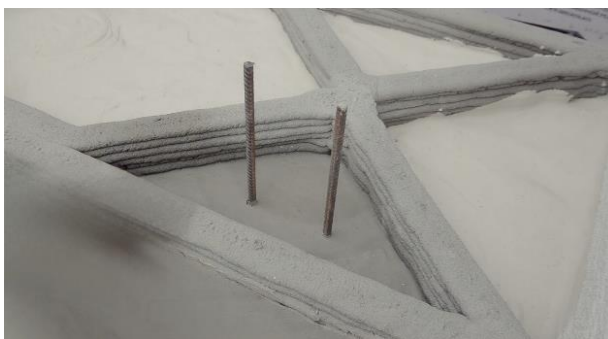


Рис. 2. Вертикальная арматура, установленная в технологические пустоты стен

Горизонтальное армирование также устанавливается для увязки стен с колоннами. На протяжении всей печати укладываются горизонтальные стяжки, которые укрепляют фасадный слой, образующий камеру для утепления конструкции [6].

Развитие аддитивных технологий, конструкции 3D принтеров, подбор оптимальных составов материалов для печати и армирования

полученных конструкций позволит существенно автоматизировать малоэтажное строительство, сократить число рабочих на строительной площадке, а также число процессов, требующих вмешательства человека [7]. Дальнейшее совершенствование данных технологий приведет к снижению стоимости строительства, сделав новое жилье более доступным для населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонтьев М. Г. 3D печать зданий: будущее строительства // Актуальные вопросы современной науки: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, Пенза. 2025.– С. 149-152.
2. Сулейманова Л. А., Зайцев М. В., Левшина Д. Э. Технологические особенности 3D-печати в строительстве // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 270-276.
3. Шаяхметова С. В. Пространственное армирование бетона для строительной 3D печати зданий // Научный аспект. – 2024. – № 5. – С. 9076-9079.
4. Дашкова Е. Г., Фролов Н. В. О применении стеклофибробетона в архитектуре // Образование, наука, производство – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 1958-1963.
5. Лунева Д. А., Кожевникова Е. О., Калошина С. В. Применение 3d-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. № 1. – С. 90-101.
6. Крушельницкая Е. А., Огнев Н. В., Чжан Ц., Сулейманова Л. А. Материалы для строительных 3D-принтеров и варианты конструктивного решения зданий // Международный студенческий строительный форум – 2018 (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова) – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 255-259.
7. Сулейманова Л. А., Погорелова И. А., Марушко М. В. Сущность аддитивных технологий в строительстве // Университетская наука. – 2018. – № 2(6). – С. 70-74.

Мирошников Д.А., аспирант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Крючков АА.**

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

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ НА ЭТАПАХ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ РАЗРУШЕНИЮ

Железобетонные рамы являются ответственными несущими конструкциями, широко применяемыми в каркасах промышленных, гражданских и общественных зданий. Их работа характеризуется сложным напряженно-деформированным состоянием, возникающим под действием вертикальных и горизонтальных нагрузок, включая сейсмические воздействия [1]. Особую важность представляет оценка поведения конструкций на стадиях, предшествующих разрушению, когда происходят необратимые изменения структуры материала и наблюдаются значительные пластические деформации [2].

Традиционные методы расчета по предельным состояниям не всегда позволяют адекватно оценить НДС конструкции в предразрушающей стадии, что обусловлено необходимостью учета физической и геометрической нелинейности, перераспределения усилий и кинетики трещинообразования [3]. Возрастающие требования к безопасности строительных конструкций диктуют необходимость разработки комплексных методов оценки их предразрушающего состояния.

Предразрушающее состояние рамных конструкций характеризуется последовательным развитием следующих фаз:

Фаза I – Упругие деформации. Характеризуется линейной зависимостью между нагрузками и деформациями. Жесткость конструкции остается постоянной, трещины отсутствуют.

Фаза II – Стабилизированное трещинообразование. Начинается с образования первых нормальных трещин в растянутых зонах. Происходит перераспределение напряжений между бетоном и арматурой.

Фаза III – Нестабилизированное трещинообразование. Характеризуется интенсивным развитием трещин, увеличением их ширины раскрытия и глубины. Наблюдается значительное перераспределение усилий.

Фаза IV – Формирование пластических шарниров. В наиболее напряженных сечениях возникают зоны пластических деформаций, происходит значительное увеличение деформативности при незначительном росте нагрузок.

Фаза V – Прогрессирующая дилатация бетона. В сжатой зоне бетона развиваются необратимые деформации, происходит его дробление и выкрашивание.

Фаза VI – Истощение несущей способности. Конструкция теряет способность воспринимать эксплуатационные нагрузки.

Для оценки НДС на этапах, предшествующих разрушению, применяются различные методы, систематизированные в табл. 1.

Таблица 1

Классификация методов оценки предразрушающего состояния железобетонных рам

Группа методов	Конкретные методы	Диагностируемые параметры	Область применения
Расчетно-аналитические	Нелинейный расчет по деформированной схеме	Прогибы, углы поворота, кривизны	Проектирование, экспертиза
	Метод предельного равновесия	Положение пластических шарниров	Оценка несущей способности
	Детерминированные модели повреждений	Накопленные повреждения	Прогноз остаточного ресурса
Экспериментальные	Тензометрия	Локальные деформации	Лабораторные и натурные испытания
	Акустическая эмиссия	Активность трещинообразования	Мониторинг развития дефектов
	Цифровая корреляция полей перемещений	Векторы перемещений, деформации	Исследование кинематики деформирования
	Вибродиагностика	Собственные частоты, формы колебаний	Оценка изменения жесткости
Численные	Нелинейный МКЭ	Напряжения, деформации, трещины	Детальный анализ НДС
	Дискретно-элементное моделирование	Процесс разрушения	Моделирование разрушения
	Метод граничных элементов	Концентраторы напряжений	Анализ местных напряжений

Расчетно-аналитические методы позволяют оценить перераспределение усилий в статически неопределимых рамах после образования пластических шарниров.

Метод предельного равновесия основан на определении схемы разрушения конструкции и вычислении несущей способности по

образующимся пластическим шарнирам. Для железобетонных рам учитывается возможность образования шарниров в узлах и пролетах [4].

Нелинейный расчет по деформированной схеме позволяет учитывать изменение жесткости элементов в процессе нагружения. Метод основан на последовательном применении итерационных процедур с корректировкой жесткостных характеристик [5].

Детерминированные модели повреждений представляют собой математические описания процесса накопления повреждений в материалах и конструкциях, основанные на физических законах механики деформируемого твердого тела. В отличие от вероятностных подходов, детерминированные модели предполагают однозначную связь между внешними воздействиями и откликом конструкции [6].

Экспериментальные методы играют ключевую роль в диагностике предразрушающего состояния.

Тензометрирование позволяет зафиксировать локализацию деформаций в зонах формирования пластических шарниров. Современные тензодатчики на основе волоконно-оптических технологий обеспечивают высокую точность измерений [7].

Метод акустической эмиссии эффективен для регистрации микродефектов и прогнозирования макроразрушения. Анализ параметров акустических сигналов позволяет определить интенсивность трещинообразования и локализовать зоны повреждений [8].

Цифровая корреляция изображений обеспечивает полевую картину деформаций конструкции. Метод основан на анализе последовательных изображений деформируемого объекта и вычислении векторов перемещений.

Вибродиагностика – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе динамических характеристик конструкций, изменяющихся в процессе накопления повреждений. Теоретической основой метода является зависимость собственных частот и форм колебаний от жесткостных характеристик конструкции [9].

Численные методы, в частности нелинейный метод конечных элементов (МКЭ), являются мощным инструментом для моделирования предразрушающего состояния. Современные программные комплексы (ANSYS, LS-DYNA) позволяют учитывать физическую нелинейность материалов; процесс трещинообразования; контактное взаимодействие элементов; температурные воздействия; ползучесть и усадку бетона.

Дискретно-элементное моделирование эффективно для анализа процессов разрушения. Метод основан на представлении материала в виде системы дискретных элементов, взаимодействующих между

собой. Метод особенно эффективен для моделирования процессов разрушения и больших деформаций [10].

Метод граничных элементов – численный метод решения краевых задач, основанный на преобразовании дифференциальных уравнений в частных производных в интегральные уравнения, заданные на границе области. Основное преимущество метода – снижение размерности задачи на единицу.

Наиболее эффективным является комплексный подход, сочетающий численное моделирование и экспериментальные методы.

Разработанный алгоритм включает:

- создание детальной конечно-элементной модели конструкции;
- проведение циклических нагружений с поэтапным увеличением нагрузки;
- регистрацию параметров НДС с использованием различных методов диагностики;
- корректировку расчетной модели по экспериментальным данным;
- верификацию модели на основе сравнения расчетных и экспериментальных данных;
- прогнозирование остаточного ресурса конструкции.
- сравнительная характеристика методов оценки предразрушающего состояния представлена в табл. 2.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов оценки предразрушающего состояния

Метод	Точность оценки пластических шарниров	Возможность прогнозирования разрушения	Трудоемкость	Стоимость
Теоретические	Средняя	Ограниченная	Низкая	Низкая
Экспериментальные	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Численные (МКЭ)	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя

Критическим признаком предразрушающего состояния является формирование пластических шарниров. Для их диагностики применяются следующие критерии:

- достижение кривизной значения $0,01-0,02 \text{ м}^{-1}$ [6];
- наличие остаточных деформаций после снятия нагрузки;
- ширина раскрытия трещин более 0,5 мм;
- снижение собственной частоты колебаний более чем на 15 %;
- интенсивность акустической эмиссии более 100 событий/с.

Проведенный анализ позволил установить, что адекватная оценка НДС железобетонных рам на этапах, предшествующих разрушению,

требует учета нелинейных процессов, сопровождающихся перераспределением усилий, образованием пластических шарниров и прогрессирующим трещинообразованием.

Наиболее эффективными методами диагностики предразрушающего состояния являются:

- нелинейный метод конечных элементов;
 - акустическая эмиссия;
 - цифровая корреляция изображений;
 - комплексный мониторинг с использованием волоконно-оптических датчиков.
- разработанный комплексный подход позволяет не только оценить текущее состояние конструкции, но и спрогнозировать ее остаточный ресурс, что имеет важное значение для обеспечения безопасности эксплуатируемых объектов.
- перспективными направлениями дальнейших исследований являются:
- разработка интеллектуальных систем мониторинга на основе машинного обучения;
 - создание цифровых двойников конструкций;
 - развитие гибридных моделей, сочетающих физические и статистические методы;
 - внедрение BIM-технологий для управления жизненным циклом конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - М., 2019.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учебник для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1991. - 767 с.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. - М.: Изд-во АСВ, 1996. - 416 с.
4. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Крючков А.А. Методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 364.
5. Крючков А. А., Жданов А. Е. Подходы к оценке деформативности изгибаемых железобетонных элементов на основе итерационных методов расчета // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2017. №1.

6. Лемайтр Ж. Курс механики разрушения. - М.: Наука, 2018. 456 с.
7. Васильев А.И., Петрова Л.Н. Современные методы экспериментальных исследований строительных конструкций. - М.: АСВ, 2020. - 228 с.
8. Тихонов В.И. Применение акустико-эмиссионного метода для диагностики железобетонных конструкций // Дефектоскопия. - 2017. - № 5. - С. 45-52.
9. Голышев А.С. Вибродиагностика строительных конструкций. - М.: АСВ, 2019. - 312 с.
10. Мустафин И.И., Фардиев Р.Ф. Обеспечение совместной работы железобетонной обоймы с усиливаемым внецентренно нагруженным элементом // Известия КазГАСУ. - 2008. - № 1 (9). - С. 96-99.
11. Проценко И.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // Строительная механика и конструкции. - 2015. - № 2. - С. 45-53.

Мирошников Д.А., аспирант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Крючков АА.

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

СБОРНО-МОНОЛИТНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЛОСКИЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Сборно-монолитные железобетонные конструкции (СМК) занимают важное место в современном строительстве, сочетая преимущества индустриального изготовления элементов с пространственной работой монолитных включений. Их применение позволяет сократить сроки возведения объектов, повысить качество изготовления элементов и снизить трудозатраты на строительной площадке. В случае статически неопределимых систем, к которым относятся плоские рамы, использование СМК открывает дополнительные возможности по перераспределению усилий и повышению надежности конструкции.

Сборно-монолитные железобетонные плоские статически неопределимые рамные конструкции – это конструкции, в которые элементы (колонны, ригели) выполнены из сборных и монолитных

материалов, при этом система является статически неопределимой из-за избыточных связей («лишних») (рис. 1).

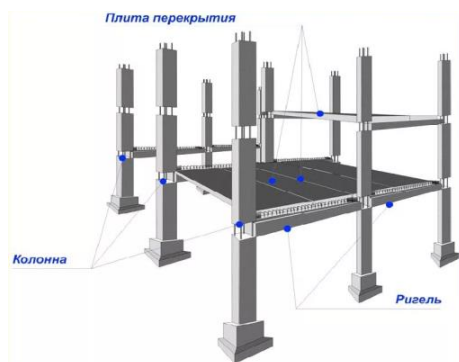


Рис. 1. Сборно-монолитная железобетонная рамная конструкция

Особый интерес представляет изучение деформативности таких конструкций, включающей величины прогибов, углы поворота в узлах и картину перераспределения усилий при совместном действии силовых и деформационных факторов [1]. Сложность поведения СМК обусловлена различными физико-механическими характеристиками сборных и монолитных элементов, а также нелинейным характером работы железобетона при длительных и кратковременных нагрузках.

При этом, к силовым факторам относятся:

- нагрузки и воздействия (монтажные нагрузки, сейсмические и взрывные воздействия, аварийные нагрузки, возникающие при резком нарушении технологического процесса, поломках оборудования, обрывах проводов линий электропередачи и другие, которые вызывают в конструкциях усилия и перемещения и относятся к прямым воздействиям);

- температурное воздействие (в статически неопределимых системах вызывает появление дополнительных усилий);

- осадка опор (в таких конструкциях это также приводит к возникновению дополнительных усилий);

- неточности изготовления и монтажа.

Деформационные факторы включают:

- объемные деформации (усадка, набухание, расширение (физико-химическое, температурное));

- конструктивно-технологические факторы (прочность бетона, направление укладки слоев бетона, условия твердения, вид напряженного состояния (выдергивание, вдавливание), очертания стержня).

Деформативность сборно-монолитных рам характеризуется нелинейным развитием прогибов и углов поворота по мере нагружения. Это связано с последовательным включением в работу сборных элементов, монолитного бетона, арматуры, а также с процессом трещинообразования.

Критические параметры деформативности включают: величины прогибов в пролетных частях ригелей; углы поворота в узловых соединениях; кривизны в критических сечениях; величины относительных деформаций в стыковых соединениях.

При совместном действии силовых и деформационных факторов наблюдается сложная картина деформирования, обусловленная различной жесткостью сборных и монолитных участков [2].

Деформированные сборно-монолитные железобетонные рамные конструкции могут проявляться в виде различных дефектов и изменений формы элементов под воздействием нагрузок, технологических нарушений или внешних факторов.

Основные виды деформаций включают прогибы, трещины, смещения элементов и нарушения целостности узлов сопряжения.

Так, под действием вертикальных нагрузок (вес конструкций, оборудование, люди) ригели могут прогибаться. В сборно-монолитных системах прогибы могут усиливаться из-за неравномерного распределения нагрузки между сборной и монолитной частями. Например, при поэтапном монтаже сначала деформируются сборные элементы, а после укладки монолитного бетона происходит перераспределение усилий (рис. 2).



Рис. 2. Сборно-монолитная железобетонная рамная конструкция

Трещины в бетоне могут возникнуть: в приопорных зонах ригелей и колонн из-за изгибающих моментов и поперечных сил; в местах сопряжения ригелей с колоннами, особенно если монолитное бетонирование выполнено некачественно (низкая прочность, плохое

уплотнение); в плитах перекрытия при недостаточной толщине или армировании (рис. 3).



Рис. 3. Наклонные трещины в зоне сопряжения с колонной

При горизонтальных нагрузках (ветровые, сейсмические) или неравномерной осадке фундаментов колонны и ригели могут смещаться относительно друг друга. Это приводит к дополнительным растягивающим усилиям в узлах и может вызвать разрушение соединений (рис. 4).



Рис. 4. Смещение сборно-монолитной железобетонной рамной конструкции

При деформации узлов сопряжения в узлах «ригель – плита – колонна» возможны: нарушение сцепления между сборной частью ригеля и монолитным бетоном; продавливание плиты над колонной при действии поперечных сил; разрушение арматурных выпусков, обеспечивающих совместную работу элементов (рис. 5).

Деформативность сборно-монолитных железобетонных рам характеризуется сложной, нелинейной зависимостью между воздействиями и откликом конструкции, что обусловлено совместной работой разнородных элементов - сборных с предварительно

заданными свойствами и монолитных, формирующихся на строительной площадке [1, 2].

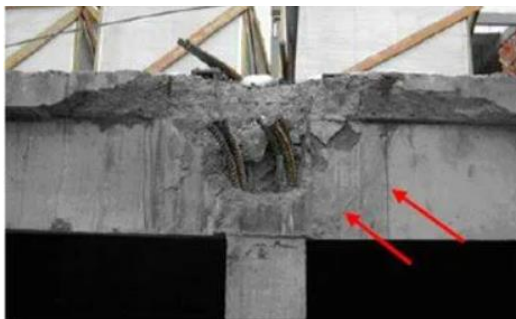


Рис. 5. Разрушение узла сопряжения основных ригелей перекрытия

При совместном воздействии силовых и деформационных факторов картина их деформирования имеет следующие ключевые особенности:

1. Величины прогибов:

Нелинейное накопление: Прогибы развиваются нелинейно по мере нагружения. На начальном этапе основную нагрузку воспринимают сборные элементы. После достижения ими определенного уровня деформаций и включения в работу монолитного бетона происходит перераспределение напряжений, что приводит к изменению траектории развития прогибов [3].

Влияние деформационных факторов: Такие факторы, как усадка бетона и температурные воздействия, вызывают дополнительные продольные деформации в элементах рамы. В статически неопределимой системе это приводит к появлению изгибающих моментов и, как следствие, к увеличению прогибов даже без приложения внешней силовой нагрузки. Например, усадка монолитного бетона в ригеле может вызвать его дополнительный прогиб за счет возникновения растягивающих напряжений в нижней зоне [4, 5].

2. Углы поворота в узлах:

Концентрация деформаций: Узлы сопряжения ригелей и колонн являются зонами концентрации напряжений. Различие в жесткости сборных и монолитных участков приводит к неравномерному распределению деформаций и, соответственно, к повышенным углам поворота в этих зонах [6].

Формирование пластических шарниров: При совместном действии силовых нагрузок (например, вертикальных и горизонтальных) и вынужденных деформаций (например, от осадки опор) в узлах могут формироваться пластические шарниры. Это сопровождается резким

увеличением углов поворота, что является критическим признаком предразрушающего состояния конструкции [7].

3. Картина перераспределения усилий:

Стадийность процесса: Перераспределение усилий в сборно-монолитной раме носит ярко выраженный стадийный характер [8]:

Стадия I: Работа сборных элементов. Усилия распределяются в соответствии с жесткостью сборной части конструкции.

Стадия II: Включение в работу монолитного бетона. Происходит первое перераспределение - часть усилий передается на монолитные участки, что снижает нагрузку на сборные элементы.

Стадия III: Развитие трещин и пластических деформаций. В наиболее нагруженных сечениях (в узлах, в пролетах) образуются трещины, а затем и пластические шарниры. Это приводит к кардинальному перераспределению изгибающих моментов и поперечных сил. Система ищет новое равновесное состояние, при этом пиковые моменты могут «мигрировать» из пролетов на опоры или наоборот [9].

Влияние деформационных факторов: Температурные воздействия и осадка опор создают в системе дополнительные изгибающие моменты, которые накладываются на моменты от внешних нагрузок. Это может привести к тому, что суммарные усилия в некоторых сечениях достигнут предельных значений раньше, чем при действии только силовых факторов. Например, неравномерная осадка фундаментов вызывает дополнительные изгибающие моменты в колоннах и ригелях, которые необходимо учитывать при оценке несущей способности узлов [10].

Таким образом, деформативность сборно-монолитных рам при совместном воздействии силовых и деформационных факторов представляет собой динамический, нелинейный процесс, характеризующийся: нелинейным и стадийным развитием прогибов и углов поворота; сложной, изменяющейся во времени картиной перераспределения усилий; взаимным влиянием факторов, таких как силовые нагрузки, которые интенсифицируют влияние деформационных факторов, и наоборот [1, 8].

Для корректной оценки данного процесса необходимо использовать комплексный подход, сочетающий нелинейные расчетные методики (такие как метод конечных элементов с учетом деформированной схемы) с экспериментальным мониторингом (включая тензометрию и акустико-эмиссионный анализ) [11, 12]. Такой подход позволит фиксировать в реальном времени снижение жесткости конструкции и возникновение зон пластических деформаций, что является критически важным для достоверного прогнозирования остаточного ресурса и гарантирования безопасной эксплуатации [13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М., 2019.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: АСВ, 2016. – 456 с.
3. Крючков А. А., Жданов А. Е. Подходы к оценке деформативности изгибаемых железобетонных элементов на основе итерационных методов расчета // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2017. №1.
4. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
5. Леденев В.В., Тамразян А.Г. Влияние усадки и ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние статически неопределимых конструкций // Бетон и железобетон. – 2020. – № 3. – С. 12-17.
6. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Крючков А.А. Методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 364.
7. Лемайтр Ж. Курс механики разрушения. – М.: Наука, 2018. 456 с.
8. Проценко И.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // Строительная механика и конструкции. – 2015. – № 2. – С. 45-53.
9. Мустафин И.И., Фардиев Р.Ф. Обеспечение совместной работы железобетонной обоймы с усиливаемым внецентренно нагруженным элементом // Известия КазГАСУ. – 2008. – № 1 (9). – С. 96-99.
10. Тихонов В.И. Применение акустико-эмиссионного метода для диагностики железобетонных конструкций // Дефектоскопия. – 2017. – № 5. – С. 45-52.
11. Васильев А.И., Петрова Л.Н. Современные методы экспериментальных исследований строительных конструкций. – М.: АСВ, 2020. – 228 с.
12. Голышев А.С. Вибродиагностика строительных конструкций. – М.: АСВ, 2019. – 312 с.
13. Рекомендации по диагностике и оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций зданий и сооружений / НИИЖБ. – М., 2018. – 89 с.

Мишенин О. В., аспирант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Есипов С. М.**

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ БАЛОК ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Железобетонные конструкции периодически подвергаются динамическим воздействиям, которые могут иметь существенное влияние на их долговечность и эксплуатационные характеристики. Такие нагрузки способны вызывать появление трещин, ухудшение сцепления между бетоном и арматурой, а в некоторых случаях – привести к разрушению конструкции. При этом, для конструкций, подверженных сложному напряженному состоянию, динамическое воздействие может привести к непредсказуемым последствиям [1].

Одним из примеров конструкций, испытывающих сложное сопротивление, являются элементы, работающие на изгиб с кручением. Ярким представителем данных конструкций являются контурные балки в сборных каркасах, работающие на изгиб, а также, из-за эксцентриситета приложенной нагрузки, на кручение [2]. При этом, данные элементы могут подвергаться динамическим воздействиям, как кратковременными, так и многократными циклическими. Кратковременные воздействия, например, ударные нагрузки, могут возникнуть в балках при взрывах, столкновениях или резких приложениях силы, что будет характеризоваться короткой длительностью действия – всего доли секунды – и резким пиком нагрузки, после которого быстро наступит спад.

С другой стороны, при установке различного оборудования, будут проявляться циклические динамические нагрузки в виде повторяющихся воздействий с определенной частотой и амплитудой, которые могут воздействовать на конструкцию длительное время. Такие нагрузки вызывают усталостные повреждения, которые со временем ослабляют структуру бетонных и арматурных элементов [2].

Исходя из данных тезисов, можно утверждать, что динамическое воздействие может оказать значительное влияние на состояние элементов, работающих на изгиб с кручением, которое необходимо верно оценить в ходе ремонта или реконструкции зданий. Для решения данной задачи необходимо иметь алгоритм определения текущего

состояния железобетонных элементов, основанный на теоретической базе исследований, базированных на экспериментальных испытаниях.

В настоящее время отсутствует универсальный и четко регламентированный метод расчета, который позволял бы адекватно учитывать взаимное влияние изгибающих и крутящих моментов при их одновременном воздействии и обеспечивать точную оценку напряженного состояния конструкции. Динамическое воздействие значительно осложняет определение остаточного запаса прочности таких конструкций и необходимость их усиления [3].

В связи с этим возникает насущная необходимость в развитии комплексных подходов к проектированию и анализу железобетонных элементов, учитывающих динамические и комбинированные нагрузки. Проведение дополнительных экспериментальных исследований и совершенствование теоретических моделей позволит повысить точность расчетов, улучшить методы контроля эксплуатационного состояния конструкций и разработать более эффективные способы их усиления, что в итоге способствует повышению безопасности и продлению срока службы объектов [4].

На данный момент существуют разработки испытательных стендов для анализа работы данных конструкций [5]. На рис. 1 представлена схема испытательной установки для проведения экспериментальных исследований над железобетонными горизонтальными элементами в форме приложения статических нагрузок в виде одновременного действия изгиба с кручением, а также однократного динамического воздействия посредством удара.

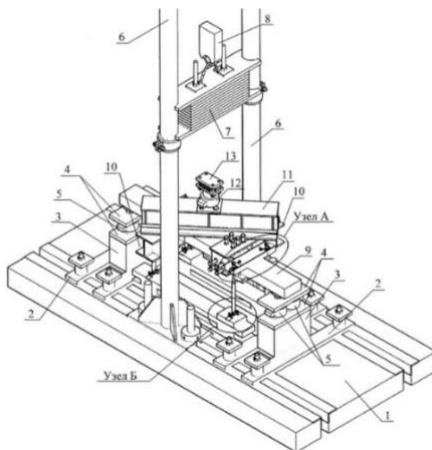


Рис. 1. Общий вид испытательной установки на совместное кратковременное динамическое воздействие изгибающего и крутящего моментов

Представленный стенд имеет ряд недостатков, ограничивающих применение данной установки для проведения масштабных испытаний, необходимых для верификации и сбора экспериментальной базы, как основы для дальнейших исследований работы горизонтальных элементов при изгибе с кручением [6]. Основным недостатком применяемого стенда является необходимость доведения экспериментальных образцов до предельного состояния для анализа прогибов и трещиностойкости конструкции. При этом, из-за наличия различных воздействий, необходимо анализировать последствия для балок от каждой нагрузки, что вызывает удорожание проведения испытаний. Также, данный стенд позволяет воздействовать на конструкции лишь однократным динамическим воздействием, что накладывает ограничение на возможность применения данной установки для исследований элементов, подверженных вибрационным воздействиям, например, от работы оборудования или сейсмических воздействий [7].

Для устранения представленных недостатков существует ряд предложений, позволяющих усовершенствовать данную экспериментальную установку. Одним из вариантов модернизации установки является размещение дополнительных акселерометров в зонах максимальных усилий. Также, для возможной оценки влияния многократно повторяющейся динамической нагрузки, испытательный стенд можно дополнить асинхронным двигателем, работающим с разной частотой. Акселерометры необходимо установить в зоны действия максимальных моментов, а именно в пролет, в зоне действия максимального изгибающего момента, а также на торцах конструкции, для восприятия колебаний от крутящего момента, и в зоне приложения динамического воздействия, для анализа влияния удара на конструкцию. Благодаря этому можно добиться того, что доведение элемента до предельного состояния не будет необходимо. С помощью приборов появится возможность анализировать частоту колебания конструкции при различных нагружениях, что позволит при равном количестве испытаний получить в несколько раз больше результатов. Благодаря этому, при обработке итогов эксперимента, появится возможность более точно определить реальную работу конструкций [7].

Установка асинхронного двигателя позволит смоделировать вибрацию от работающего оборудования в зоне установки испытываемой конструкции. Благодаря данному предложению значительно расширится зона исследуемых железобетонных элементов, работающих на изгиб с кручением.

Предложенные варианты усовершенствования применяемых экспериментальных установок для изучения элементов, работающих при изгибе с кручением, позволяют расширить область анализируемых

конструкций, а также дают возможность получить более точные результаты испытаний путем уменьшения среднего квадратичного отклонения полученных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родевич В.В., Арзамасцев С.А. К оценке прочности железобетонных изгибаемых элементов при кручении от кратковременных динамических нагрузок // Вестник ТГАСУ. 2017. №2. С. 112–122.

2. Родевич В.В. Совершенствование метода расчета железобетонных изгибаемых элементов на основе блочной модели деформирования при кратковременном динамическом нагружении // Вестник ТГАСУ. 2004. №1. С. 45–50.

3. Плевков В.С., Балдин И.В., Балдин С.В., Плевков Р.А. Расчет прочности и трещиностойкости железобетонных элементов при совместном действии продольных сил, изгибающих и крутящих моментов // Вестник ТГАСУ. 2018. №3. С. 133–146.4. Смоляго, Г. А., В. А. Дронов Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания: учеб. пособие. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2004. - 88 с

4. Колчунов В.И., Демьянов А.И., Печенев И.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного сечения при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2020. №5. С. 3–12.

5. Меркулов С. И., Сулейманова Л. А., Есипов С. М. Верификация методики испытаний железобетонного элемента при изгибе с кручением в условиях длительной эксплуатации // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 12. – С. 37-46.

6. Меркулов С. И., Кашуба С. О., Родина Э. Е. Изгиб с кручением в крайних ригелях каркасно- связевой системы зданий // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2024. С. 79-84.

7. Меркулов С.И., Есипов С.М. Методика экспериментальных исследований усиленных железобетонных балок при изгибе с кручением // Труды международной научно-практической конференции «Архитектура. Строительство. Информационные технологии - 2023» (г. Новороссийск, 4-8 сентября 2023 г.). Новороссийск: НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. С. 67–69.

Мурцалов А.М., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Фролов Н.В.

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

ПРОЧНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ КЛЕЕДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

Изгибаемые клееные деревянные конструкции обладают рядом своих достоинств: такие конструкции имеют меньший вес по отношению к таким же конструкциям из металла или железобетона; сама по себе древесина – экологически чистый материал; у древесины большая сырьевая база в нашей стране; древесина сохраняет свои свойства в агрессивных кислотных и щелочных средах.

Однако у данных конструкций есть и весомый недостаток – ограниченность высоты сечения. При больших значениях пролета высота сечения балки будет тоже достаточно большой (1/10...1/12 от длины пролета), что нерационально, и, в свою очередь, при определенных значениях пролета балка не будет нести саму себя. Данная проблема решается применением армирования изгибаемых клеедеревянных элементов. Вдобавок, применение арматуры в таких конструкциях повышает их несущую способность.

При изучении клеедеревянных балок, армированных стальной арматурой, выявляются следующие недостатки: высокая стоимость самого армирующего материала, что, в свою очередь, увеличивает и стоимость производства клеедеревянных балок; большая разница между модулями Юнга у стали и древесины, что приводит к неполноценной совместной работе материала; и стальная арматура недостаточно вынослива по отношению к агрессивным средам, в отличие от древесины (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики различных армирующих материалов

Материал	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³
Стекловолокно «S»	4585	85	3,5-4,7	2,48
Базальтовое волокно	4100	110	3,5-4,7	2,8
Углеродное (высокопрочное)	4300-4900	230-240	1,9-2,1	1,8
Арамид	3200-3600	124-130	2,4	1,44
Арматурная сталь класса А400	390	205	20-30	7,8

Часть недостатков армирования стальной арматурой можно нивелировать применением полимеркомпозитной арматуры.

Применение полимерных композитов при армировании изгибаемых клеедеревянных конструкций является актуальным, так как сами полимерные композиты имеют высокие прочностные характеристики, устойчивы к агрессивным средам и обладают невысоким объемным весом.

Основная причина, по которой применение полимерных композитных материалов ограничивается при армировании изгибаемых клееных деревянных конструкций – это неизученность данного вопроса и отсутствие нормативной документации для проведения расчетов по данному роду конструкций, а также для их проектирования. Это вызвано довольно малым числом исследований в данной области.

Существующие методы армирования изгибаемых деревянных клееных конструкций, армированных полимеркомпозитной арматурой, а также методики их расчета, не учитывают такие существенные особенности работы древесины, как изменение габаритных размеров самого материала [древесины] при изменении влажности воздуха, работу древесины на скалывание.

В свою очередь, не изучены варианты локального армирования клееных деревянных конструкций в зонах, где волокна растянуты и с дефектами, также не проработаны методики увеличения прочности при сдвиге изгибаемых элементов для недопущения отрицательного воздействия непрочных и расслоений, отсутствуют корректные методики расчета армированных клееных деревянных балок для проектирования составного сечения.

Все вышеперечисленные факторы доказывают малую изученность вопроса по армированию изгибаемых клееных деревянных конструкций, а также влияние полимеркомпозитной арматуры на их прочностные характеристики.

Применение полимеркомпозитной арматуры при правильном соблюдении технологии соединения арматуры и дерева положительно влияет на прочностные характеристики клеедеревянных элементов, а конкретно: повышает несущую способность, т.е. при совместной работе арматуры с древесиной напряжения в арматуре достигают предела вникать не прежде, чем исчерпывается прочность древесины; предотвращает хрупкое разрушение – даже после полного разрушения древесины в растянутой зоне арматура частично сохраняет несущую способность, повышая надежность конструкции в целом; перераспределение усилий между древесиной и арматурой и уменьшение габаритов сечения.

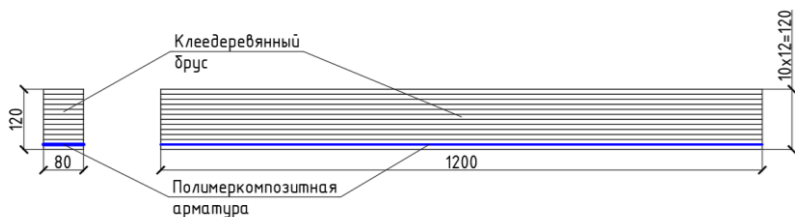


Рис. 1. Пример клеедеревянного элемента, армированного полимеркомпозитной арматурой

Научная новизна применения полимеркомпозитной арматуры в изгибаемых клеедеревянных конструкциях заключается в нахождении эффективного механизма сцепления полимеркомпозитной арматуры с древесиной и определение влияния этой арматуры на прочность всей изгибаемой конструкции по изгибающему моменту. Также решение проблемы обеспечения совместной работы полимеркомпозитной арматуры и древесины способствует повышению несущей способности по первой группе предельных состояний изгибаемых клеедеревянных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон / Н. В. Фролов, Д. В. Обернихин, А. И. Никулин, Р. Ю. Лапшин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2015. – № 3. – С. 18-21.

2. Евстигнеева В. М., Лазарев А. Л., Сангулова И. Б. Характер напряженно-деформированного состояния армированных изгибаемых клееных деревянных элементов // Огарев-Online: электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakter-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-armirovannyh-izgibaemyh-kleenyh-derevyannyh-elementov/>. – Дата публикации: 2020.

3. Чумак К. Г., Чернышев О. Н. Характерные особенности клееного бруса из сращенных заготовок и технология его производства // Наука и образование сегодня: электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakternye-osobennosti-kleenogo-brusa-iz-sraschennyh-zagotovok-i-tehnologiya-ego-proizvodstva/>. – Дата публикации: 2019.

4. Рощина С. И., Римшин В. И. Экспериментальные исследования клееных армированных деревянных балок при длительном действии нагрузки //и реконструкция. – 2010. – с. 32.

5. Сюй К. Исследование технологии армирования клееной деревянной конструкции //Серия" Строительство". – 2023. – С. 197-202.
6. Бойтемиров Ф. А. Проектирование эффективных деревянных конструкций //Вестник научных конференций. – ООО Консалтинговая компания Юком, 2020. – №. 2-1. – С. 43-46.
7. Бойтемиров Ф. А. Проектирование деревянных конструкций с повышенными эксплуатационными свойствами //БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2019. – №. 5. – С. 49-51.
8. Лабудин Б. В. и др. Анализ напряженно-деформированного состояния армированных деревянных конструкций при изгибе //Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – №. 5. – С. 37-44.
9. Ивакин А. И., Иодчик А. А. Армирование как средство повышения несущей способности деревянных конструкций //Материалы 59-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ. – 2019. – С. 257-260.
10. Сизов Ю. В. и др. Экспериментальное исследование прочностных характеристик деревянных клееных армированных балок //Инженерные задачи: проблемы и пути решения. – 2019. – С. 29-32.
11. Веселов В. В., Абу-Хасан М. С., Сидорова П. С. Применение клееных деревянных балок с композитной арматурой //БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – №. 8. – С. 28-29.
12. Муселемов Х. М. и др. Исследования клееных армированных деревянных конструкций //Наука в цифрах. – 2016. – №. 1. – С. 10-13.
13. Левинский Ю. Б., Петряев Н. Особенности напряженно-деформированного состояния клееных балок, армированных волокнистыми синтетическими материалами //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 2. – С. 199-199.
14. Петряев Н. Е., Левинский Ю. Б. Экспериментально-теоретическое обоснование эффективности дисперсионного армирования клееных деревянных балок //Системы. Методы. Технологии. – 2012. – №. 2. – С. 102-106.
15. Стоянов, В. О. Прочность и деформативность изгибаемых деревянных элементов, усиленных полимерными композитами: автореф. дис. канд. наук: 05.23.01 / Стоянов Владимир Олегович; науч. Рук. А. А. Погорельцев; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – Санкт-Петербург, 2018. – 26 с.

¹Панченко А.В., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

²Серых И.Р.

¹*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия*

²*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ БИОНИКИ

В мировой практике накоплен большой опыт в отношении «патентов» природных организмов. Большие перспективы их использования открываются в области строительства. С этим связаны: поиск новых функционально нацеленных архитектурных форм и проектирование рациональных конструкций с привлечением новых типов материалов.

Законы структурообразования, проистекающие из общефизического принципа стационарного действия, распространяются как на органическую природу, так и на инженерные конструкции. Критерии оптимальности инженерных творений могут иметь аналоги в природной среде. В то же время идентификация организмов и инженерных конструкций ограничивается вводом феноменологических характеристик материалов (модулей, коэффициентов), не укладывающихся в рамки молекулярной организации организмов.

Главной задачей бионики является открытие аналогии между процессами структурообразования в технике и природе [1, 2].

Преобладающий метод бионики состоит в поиске путей копирования живой природы и средств технического моделирования биологических устройств, с привлечением математического аппарата.

Таким возможным путем является математическое моделирование, чаще представляемое как функциональная установка. Физические, химические и биологические процессы интерпретируются математическими средствами. Производится проверка соответствия общефизическому принципу стационарного действия [3], после чего определяются энергетические и экономические показатели объекта. Следующий этап – конструктивное воплощение технической идеи [4, 5].

Если математическая интерпретация оказывается сложной, применяют физико-химическое моделирование, используя установки биофизики и биохимии. В этом случае на первый план выходит соблюдение законов подобия, которые и определяют

трансформирование процессов в природе, начиная с масштабов живой клетки в техническую отрасль.

Прямое физико-химическое моделирование также может оказаться сложным процессом. На помощь приходят электронно-вычислительные машины, которые позволяют учитывать большое число разнообразных факторов в аналогии природной и технической структуры. Например, модель нервной системы включает представления о характеристиках нервной клетки, свойствах нервных связей и общем функционировании нервной системы. Такие же комплексы рассматриваются и при воплощении технической идеи.

Бионика тесно связана с биологической кибернетикой [6]. Но есть между ними и отличительные черты. Биологическая кибернетика связана с моделированием функций и структур организмов, механизмов управления и регулирования. Бионика представляет модели систем для конкретного применения в технике. При этом метод оптимального копирования природы сочетается с изобретательством инженера, вносящего дополнения в техническую систему.

Обратимся к конкретному примеру. Примером экономичных созданий являются вантовые несущие конструкции [7]. Составляющие их прямолинейные нити испытывают растяжение и свободны от потери устойчивости формы равновесия, проявляющейся при сжатии.

Такого рода конструкции имеют широкое распространение в живой природе. Примером являются паутина. Паук под силу создавать большепролетные «мосты», например, через пространные ущелья. С высоты дерева или каменного уступа он спускает нить большой длины, способную воспринять вес паука на ее конце. Ветер переносит эту систему на другую сторону ущелья. Это по-существу канатная дорога, необходимая пауку для наращивания материала в целях создания окончательной структуры.

Встречаются горизонтальные и вертикальные сети паутины. Их размеры и геометрические очертания зависят от вида и размеров насекомых, подвластных пауку, прочности опорных средств и самого «строителя».

Одноточечное крепление ненадежно. Поэтому создается мощный опорный блок из системы треугольников. Предел прочности нитей паутины находится в пределах от 400 до 2600 МПа. Склеенный из них кабель оказывается вдвое прочнее стальной проволоки того же диаметра.

С точки зрения прочности длина вертикально подвешенной нити паутины, выдерживающая собственный вес, составляет 70 км. Для

сравнения соответствующие длины для шерсти – 10-20, вискозы – 40-75, стекла – 70-120 км [8].

Фотографии с помощью электронного микроскопа мест сопряжения нитей паутины обнаружили изумительное сходство с имевшими место на практике узлами сетчатых конструкций. Изобретательство оказалось в едином русле с явлениями природы.

Прообразом паутины служит мост в Калифорнии пролетом 137 м, имеющий вид дугообразной линии в горизонтальной плоскости. В его систему входят 80 тонких стальных тросов, закрепленных на разных уровнях в скальных выступах. Также конструкция исключила устои моста, обычно трудно реализуемые. Важным обстоятельством явилось противостояние сейсмическим воздействиям. Вантовая конструкция, подобно паутине, способна демпфировать динамические нагрузки.

Эволюционное моделирование – метод адаптивного синтеза структурных моделей.

При решении задач управления, предсказания и распознавания в описываемых условиях современная кибернетика предлагает применять так называемые алгоритмы самоорганизации, обладающие максимальной способностью приспосабливаться к изменениям объекта.

Примеры наиболее сложных из существующих самоорганизующихся систем (материальных реализаций алгоритмов), возникших в процессе самоорганизации, дает нам природа. Это биологические системы. Отталкиваясь от них, под самоорганизацией понимают самопроизвольное возникновение организации (упорядоченности) в системе, свободной от влияния внешних воздействий. Процесс самоорганизации начинается с исходной организации, обладающей устойчивостью и в силу этого составляющей с внешней средой систему управления. Исходная организация могла появиться и случайным образом. В дальнейшем процесс самоорганизации в биологических системах тесно переплетается с эволюцией [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патури Ф. «Растения – гениальные инженеры природы» / Пер. с нем. Ю. И. Куколева; Под ред. Б.П. Степанова. М.: Прогресс, 1982. 272с.
2. Patzelt O. Wachsen und Bauen.: Konstruktionen in Natur und Technik. Berlin: Verlag fur Bauwesen, 1972. 168 S.
3. Юрьев А.Г. Вариационный принцип стационарного действия. Белгород, 2024. 76 с.
4. Бранков Г. Основы биомеханики / Пер. с болг. В. Джупанова; Под ред. И.В. Кнетса. М.: Мир, 1981. 256 с.

5. Казанцев Э.Ф. Технология исследования биосистем. М.: Машиностроение, 1999. 177 с.

6. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова; Под ред. Г.Н. Поварова. М.: Наука, 1983. 344 с.

7. Отто Ф. Висячие покрытия, их формы и конструкции / Пер. с нем. В.Г. Калиша; Под ред. И.Г. Людовского. М.: Стройиздат, 1960. 180 с.

8. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 184 с.

9. Panchenko L.A. Design of Transformable Beam Systems. Innovations and Technologies in Construction. BUILDINTECH BIT 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 151. Pp 322-327.

Пардаев М.Р., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Крючков А.А.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ «КОЛОННА-ПЛИТА» В БЕЗБАЛОЧНОМ МОНОЛИТНОМ ПЕРЕКРЫТИИ

Безбалочные монолитные перекрытия сегодня широко применяются в строительстве благодаря своим технико-экономическим преимуществам. К достоинствам относится простая технологичность монтажа, сниженная материалоемкость, увеличение высоты помещений. Данные характеристики обуславливают востребованность данного типа перекрытий в гражданском и промышленном строительстве. При этом самая ответственная часть конструкции – место соединения колонны с плитой. Именно от качества этого узла зависит, насколько безопасным будет сооружение.

Актуальность изучения данного узла важна по ряду причин. В зоне соединения деталей высокая концентрация локальных напряжений, сложное распределение внутренних усилий в зоне сопряжения, а чтобы избежать разрушений в отдельных участках, нужны точные расчеты. Чем выше здание с безбалочными перекрытиями, тем выше требования к надежности соединения. При этом сохраняется ряд нерешенных научно-технических задач: недостаточная изученность закономерностей распределения напряжений в зоне сопряжения, сложность моделирования нелинейных деформаций бетона,

неоднозначность нормативных требований к армированию узла, отсутствие универсальных расчетных методик, учитывающих вариативность геометрических параметров. [2]

Для анализа НДС узла применяются следующие методы:

1. Метод конечных элементов (МКЭ).
2. Расчеты на основе нормативной документации СП 63.13330.2018 [1].
3. Экспериментальные исследования.
4. Моделирование в программных комплексах («ЛИРА-САПР», «SCAD», «ANSYS»), позволяющих реализовать трехмерный анализ НДС.

Анализ НДС узла сопряжения демонстрирует возникновение различных напряжений. Сжимающие напряжения появляются из-за вертикальной нагрузки, растягивающие концентрируются в верхней части плиты, касательные возникают на контакте элементов, а моменты образуются из-за внецентренного приложения нагрузки. Распределение этих напряжений зависит от нескольких параметров: жесткости колонны и плиты, толщины плиты, диаметра колонны, схемы расположения арматуры и величины действующей нагрузки.

На работу узла влияют три группы факторов. К геометрическим относятся соотношение сторон колонны, толщина плиты и величина защитного слоя бетона. [3] Механические характеристики определяются классом бетона и арматуры, а также упругостью материалов. Конструктивные особенности включают схему армирования, наличие капителей (расширений вверх колонны) и тип соединения элементов (монолитное или сборное).

Для изучения деформации узла применяют три основных способа. Численное моделирование позволяет создать трехмерную модель узла, задать граничные условия и проанализировать распределение напряжений и деформаций. Экспериментальные методы включают испытания реальных образцов, измерение деформаций с помощью датчиков и фиксацию трещин на фото. Аналитические расчеты основаны на нормах СП 63.13330.2018 и законах теории упругости, что дает возможность оценить состояние узла. [4]

Результаты исследований показывают полную картину распределения напряжений в узле. Максимальные сжимающие напряжения сосредоточены у края колонны, растягивающие достигают наибольших значений в верхней зоне плиты над колонной, а касательные напряжения максимальны на контактной поверхности между плитой и колонной. Выяснилось, что установка капители помогает снизить концентрацию напряжений на 20–30 %. При этом

остаются зоны, которые подвержены повреждениям: угловые участки соединения, зона перехода от колонны к плите и верхняя растянутая часть плиты. [5]

Для повышения надежности узла необходимо применить ряд мер. С конструктивной стороны использовать капители для более равномерного распределения нагрузки, увеличивать толщину плиты в зоне опирания, устанавливать поперечную арматуру (хомуты и шпильки) и делать местные утолщения (вуты). В плане армирования эффективно усиливать верхнюю зону плиты с помощью сеток, добавлять стержни у граней колонны и применять фибровое армирование, внося в бетон специальные волокна. С технологической точки зрения важно контролировать качество укладки бетона, обеспечивать прочное сцепление арматуры с бетоном и проводить поэтапное нагружение при испытаниях. При выполнении расчетов необходимо учитывать переменную работу бетона, прогнозировать образование трещин и проверять конструкцию на предельные состояния нагрузки.

Исследования данных конструкций позволяют сделать несколько выводов. Работа узла характеризуется сложным распределением напряжений, требующим изучения. Наибольшую опасность представляют растягивающие и касательные напряжения в зоне контакта элементов. Эффективность работы узла определяется сочетанием геометрических, механических и конструктивных факторов. Чтобы получить нужную надежность, необходимо грамотно сочетать конструктивные решения и технологические приемы при проектировании и строительстве [6].

В будущем развитие этой темы может идти по нескольким направлениям. Можно улучшить расчетные модели, добавив в них учет изменения формы бетона под длительной нагрузкой, точнее рассчитывать поведение узла при вибрациях и сейсмических воздействиях, а также разработать специализированные элементы для расчетов. Перспективно внедрение новых материалов – высокопрочных бетонов, композитной арматуры и бетонов, способных восстанавливать мелкие повреждения. Стоит расширить экспериментальные исследования: проводить испытания на крупных моделях, изучать долговечность узлов и их поведение при сейсмических нагрузках. В сфере проектирования полезно интегрировать расчетные модули в программы BIM, создать программные инструменты для подбора параметров узлов и сформировать базу данных с результатами испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 52-01-2003) / Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2019. – 192 с.
2. Бондаренко, В. М. Железобетонные и каменные конструкции: учебник для вузов / В. М. Бондаренко, Р. О. Бакиров, В. Г. Назаренко, В. И. Римшин; под ред. В. М. Бондаренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2021. – 887 с.
3. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. – М.: Стройиздат, 1949. – 279 с.
4. Залесов, А. С. Армирование железобетонных конструкций: справочное пособие / А. С. Залесов, В. В. Филатов. – М.: АСВ, 2017. – 160 с.
5. Травуш, В. И. Расчет и проектирование железобетонных конструкций многоэтажных зданий: монография / В. И. Травуш, А. Г. Тамплов, А. В. Кудинов. – М.: Издательство АСВ, 2020. – 240 с.
6. 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.

Севрюков А.А., магистрант

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.

Смоляго Г. А.

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

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЯ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

Ограниченность территорий для застройки вблизи инфраструктурных центров при высоком спросе вынуждает застройщиков развивать многоэтажное подземное строительство и осваивать участки со сложными инженерно-геологическими условиями, такими как повышенная влажность грунтового основания, подтопления, техногенные и культивированные, просадочные и слабые грунты, требующие искусственного закрепления [1]. В связи с этим при проектировании современных строительных объектов все чаще применяются нетиповые решения, которые требуют дополнительных расчетных обоснований. Зачастую решить подобные задачи без применения специализированных программных комплексов, позволяющих учесть большой ряд факторов, практически невозможно.

Запрос инженеров строительной сферы на возможность определения более реалистичных сценариев взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми массивами, в том числе в сложных условиях, подтолкнул многочисленных исследователей, ученых и разработчиков к созданию программных комплексов, способных отразить это взаимодействие. Ряд программ геотехнической направленности в настоящее время способны учесть нелинейное поведение грунтов с учетом пластических деформаций, анизотропные свойства и неоднородность, а также некоторые временные процессы, протекающие в грунтах, такие как ползучесть, консолидация или сейсмические воздействия. Расчетные комплексы, наиболее широко распространенные в практике проектирования зданий, также с каждым годом дополняются функциями, позволяющими учесть влияние особенностей грунтового основания на напряженно-деформированное состояние наземной части сооружения [2].

Как в специализированных, так и в универсальных программных комплексах расчет чаще всего основан на методе конечных элементов. При этом каждому конечному элементу могут быть присвоены необходимые свойства материалов строительных конструкций и грунтов основания, что позволяет учитывать характер распределения грунтов с отличающимися свойствами под подошвой фундаментов зданий или сооружений. Также точность расчета может быть отличной при описании задачи плоскими или объемными конечными элементами. Так, результаты, полученные при формировании грунтового основания объемными КЭ с учетом свойств нелинейной деформируемости среды и при достаточных для распределения напряжений размерах задаваемой области основания, будут наиболее приближенными к действительности. Однако большой объем информации, состоящий из данных о всех слоях грунтов на достаточно большой площади с учетом нелинейности зачастую трудно обработать даже современными программными комплексами. В ряде случаев прибегать к подобному усложнению задачи не всегда целесообразно. Исходя из этого вполне актуальным остается способ задания расчетных моделей с учетом лишь весьма ограниченного числа параметров, описывающих свойства грунта, что позволяет поддерживать корректную связь методов механики грунтов и строительной механики [3].

Рассмотрим основные методы расчета грунтового основания совместно с надземной частью здания на примере программного комплекса «Лира-САПР» [4], который предоставляет возможность воспользоваться моделью линейно упругого полупространства, моделью Винклера-Фусса или моделью Пастернака.

Модель Винклера-Фусса описывает распределительные свойства грунта при помощи единого коэффициента постели C_1 , который позволяет оценить работу грунта только на сжатие и связать вертикальный отпор

грунта с осадкой основания, находящегося под подошвой проектируемого фундамента. Данный метод отличается предельной математической простотой, но имеет сниженную точность [5].

Модель Пастернака является наиболее распространенной и строится на двух независимых коэффициентах постели. Первый – аналог коэффициента Винклера, описывающий сжатие грунта. Вторым – коэффициент сдвига C_2 . Методики вычисления данных коэффициентов, описанные в своде правил [3], в программном комплексе реализована через две технологии.

Первая, наименее трудоемкая, позволяет посредством введения данных о геологических условиях и о конструктивном решении фундаментов вычислять коэффициенты постели для центральной точки заданного отдельностоящего фундамента или фундаментной плиты. При этом принимается, что нагрузка распределена равномерно по подошве фундаментов, а грунтовые условия одинаковы на всей площадке. Перечень требуемых исходных данных может незначительно варьироваться в зависимости от выбранной методики расчета. Вторая технология реализована в подсистеме «ГРУНТ» и включает в себя построение пространственной модели грунтового массива на основе данных инженерно-геологических колонок. Пример формирования модели слоистого основания на основании данных ряда скважин в системе «ГРУНТ» с заданием неравномерно распределенных нагрузок приведен ниже (рис. 1) [6].

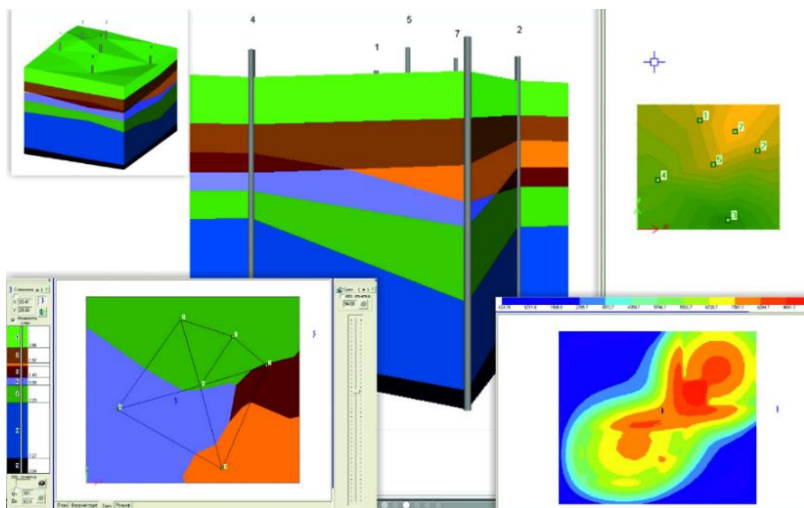


Рис. 1. Моделирование грунтового основания в системе «ГРУНТ»

В данном случае задаваемое грунтовое основание может не ограничиваться формой фундамента в плане, а имеет произвольную площадь, на которой также могут располагаться существующие и строящиеся здания, влияние которых требуется учесть в расчете. Точность расчета осадок, который ведется по схеме линейно упругого полупространства, регулируется шагом триангуляции. Так, применяя данную систему, возникает возможность определить коэффициенты постели C_1 и C_2 , значения осадок, глубины сжимаемой толщи, усредненного значения модуля деформации и коэффициента Пуассона в любой точке площадки строительства.

Таким образом, в настоящее время к вопросу реализации моделирования взаимодействия зданий с грунтовым основанием можно подойти по-разному в зависимости от сложности конструктивной схемы здания или сооружения, класс его ответственности и грунтовых оснований [7]. Задачу можно решить, как с уклоном на сокращение трудоемкости, так и на повышение точности результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миразимова Г.У., Савин С.Ю., Суннатуллаева М.Э. Изучение дисциплины «механика грунтов» для обеспечения устойчивости инженерных сооружений // Экономика и социум. 2025. с. 1314 – 1317.
2. Черныш А.С., Черныш Н.Д. Формирование качественной городской среды с учетом условий деформаций грунтов основания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова №1. 2017. С. 112 – 115.
3. СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений» (Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 970/пр)
4. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы. Е.Б Стрелец–Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов. Под ред. Академика РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019. – 154с.
5. Прудько Е.И. Сравнительный анализ математических моделей основания фундаментных плит // Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. 2012. с. 46 – 51.
6. URL: <https://lira.land/lira/systems/soil.php> // Электронный ресурс (дата обращения 07.11.2025 г.)
7. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А., Мирзоев А.А. Исследование влияния изменчивости свойств песчаных и глинистых грунтов на напряженно-деформированное состояние оболочек опускных колодцев при их погружении // Вектор Геонаук №1. 2018. С. 38 – 46.

Семенов А. Ю., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Обернихин Д. В.

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

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ СХЕМАМИ К ВНЕШНИМ ВЗРЫВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В последние годы возросло количество повреждений зданий, причиной которых являлось внешнее взрывное воздействие. Появление новых угроз, включая атаки беспилотных летательных аппаратов, требует пересмотра подходов к обеспечению устойчивости к не только для стратегически важных объектов, но и для стандартных сооружений, включая жилые здания. Последствия взрывов включают механические повреждения конструкций, разрушения от непосредственного воздействия и вторичные эффекты в виде пожаров и обрушений. На первом этапе изучения последствий такого рода воздействий на исследуемые объекты необходимо выполнить обзор имеющейся нормативной и технической литературы.

На момент написания статьи в РФ действует СП 542.1325800.2024, по выбранной теме из нужной информации он регулирует только варианты защиты объектов от БПЛА и уровень их защиты. Так как объектом исследования являются здания, то из всех предложенных защитных ограждающих конструкций будут рассмотрены только «защитные сетки» и «дополнительные защитные сетки», так как для защиты наиболее уязвимых конструкций они эффективнее остальных в соотношении стоимости на 1м^2 и минимизации ущерба от ударного воздействия.

Важно понимать, что наличие различных внешних преград таких как деревья или рекламные вывески может защитить здание от последствий взрыва, однако это не дает гарантию того, что опытный оператор ударного БПЛА не сможет сманеврировать и поразить уязвимую часть здания. Поэтому нельзя рисковать и оставлять без внимания случаи, когда здание защищено деревьями, но при этом является склонным к прогрессирующему обрушению.

Так как повреждения фасадов, окон и ограждающих конструкций при взрывных воздействиях практически не избежать, следует обратить внимание именно на несущие элементы. Необходимо

проанализировать самые распространенные здания, которые можно защитить. Особую значимость приобретает анализ зданий с различными конструктивными схемами, поскольку разные типы конструкций по-разному реагируют на взрывные нагрузки. В дальнейшем предполагается проведение численного исследования, в результате которого будут представлены модели двух железобетонных зданий с одинаковыми планами: каркасное и панельное, с различными комбинациями нагружений. Цель этого исследования - выяснить как внешние взрывные воздействия влияют на здания с различными конструктивными схемами и выявить слабые и сильные места у каждого из них.

Также важно определиться с нагрузками расчетной модели здания, чтобы оценить ущерб, который могут нанести различные виды боеприпасов, а также дать анализ огнестойкости здания. Так как рассматриваются железобетонные панельные и каркасные здания, то по требованиям СП2.13130.2020 присваиваем исследуемым зданиям степень огнестойкости - I. Для дальнейших расчетов будет использована табл. 1 [2].

Таблица 1

Избыточные давления ударной волны ($\Delta P_{\text{ф}}$) при различных мощностях боеприпаса и расстояниях до центра взрыва, кгс/см²

q, кг	Избыточное давление $\Delta P_{\text{ф}}$, кгс/см ²							
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1
	Расстояние до эпицентра взрыва, км							
100	1,40	1,60	1,70	2,10	2,60	3,80	4,40	6,50
	1,50	1,70	1,90	2,20	2,50	3,20	3,90	5,20
200	1,60	1,80	1,90	2,50	2,90	4,40	5,50	7,90
	1,80	2,00	2,20	2,60	3,00	3,80	4,90	6,40
300	1,85	2,07	2,27	2,80	3,35	4,95	6,35	9,10
	2,10	2,30	2,55	2,93	3,60	4,40	5,65	7,30
500	2,30	2,60	3,00	3,40	4,20	6,00	7,55	11,50
	2,60	2,80	3,20	3,60	4,40	5,50	6,70	9,00
1 000	3,00	3,30	3,60	4,30	5,00	7,50	9,50	14,30
	3,50	3,60	4,00	4,50	5,40	7,00	8,40	11,20

В дальнейшем при расчете моделей зданий необходимо использовать наиболее неблагоприятные варианты нагрузки. Будут рассмотрены различные конструкции, к которым будет приложена нагрузка: колонны, несущие стены, несколько колонн и перекрытие, ядра жесткости и прочее, чтобы при дефиците защитных сеток

обезопасить хотя-бы самые уязвимые части здания для предотвращения разрушений конструкций. Также необходимо предусмотреть введение дополнительных конструктивных элементов, включающихся в работу при возникновении особой расчетной ситуации для повышения общей жесткости здания [5].

Таким образом, комплексное исследование устойчивости зданий с различными конструктивными схемами к внешним взрывным воздействиям является крайне актуальным как с практической, так и с научной точки зрения, что обусловлено растущими рисками аварий, усложнением производственных процессов и появлением новых угроз безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. "СП 542.1325800.2024. Свод правил. Защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Правила проектирования" 28 с.

2. Асаенко И. С., Навоша А. И., Зацепин Е. И. Оценка устойчивости работы промышленного объекта в чрезвычайных ситуациях: метод. пособие для практич. занятий по дисц. «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность» – Минск: БГУИР, 2007 – 42 с.

3. "СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты" 42с.

4. Невская Е. Е., Глебова Е. В. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн - Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 73-78.

5. Мигулина А. А., Обернихин Д. В., Дрокин С. В. Повышение устойчивости к прогрессирующему обрушению многоэтажного каркасного здания из монолитного железобетона введением стальных связевых элементов - Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов IX Международной научно-практической конференции, Белгород, 15 апреля 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 47-52.

6. "СП 385.1325800.2018. Свод правил. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения" 29 с.

Сысолятин В.Е., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Солодов Н.В.**

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

УСИЛЕНИЕ КОМПОЗИТНЫМИ ЛАМЕЛЯМИ ИЗ УГЛЕТКАНИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В последние десятилетия в строительной отрасли наблюдается активное внедрение композиционных материалов, что связано с их высоким удельным сопротивлением, устойчивостью к коррозии и сравнительно малой массой. Одним из направлений применения композитов является усиление деревянных конструкций – клееных балок и перекрытий.

Для повышения несущей способности деревянных элементов применяют наклеивание композитных ламелей из углеродной ткани (углеткани), которые воспринимают значительную часть растягивающих напряжений (рис. 1).



Рис. 1. Примеры использования композитных материалов для усиления конструкций из древесины

Главным элементом такой конструкции является клеевой шов – через него нагрузки переходят от деревянной детали к композитной ламели. Его способность выдерживать сдвиг, прочность и характер деформаций определяют, насколько надежным будет все соединение. Взаимодействие древесины, клея и композита довольно сложное, на него влияют строение и свойства материалов на микроуровне, параметры подготовки поверхности, качество нанесения клея, условия

отверждения, а также внешние факторы, такие как влажность и температурные перепады.

Исследование поведения клеевого шва имеет большое значение. Поэтому в данной статье рассматриваются основные особенности и факторы, влияющие на прочность и деформируемость клеевого шва сдвига в соединениях древесины с углепластиковыми ламелями, а также причины возможных дефектов и особенности работы таких конструкций под нагрузкой.

Древесина – это природный материал, свойства которого зависят от направления волокон. Из-за того, что волокна тянутся вдоль ствола, древесина гораздо прочнее на растяжение и сдвиг вдоль этих волокон, чем поперек них. На то, как она ведет себя под нагрузкой, сильно влияют влажность, пористость и разные дефекты. Эти же факторы сказываются и на том, насколько хорошо клей сможет соединиться с поверхностью древесины.

Углеткань (или карбоновая ткань) – это материал, сплетенный из очень тонких углеродных волокон, которые отличаются высокой прочностью и жесткостью. В отличие от древесины, такая ткань почти не деформируется со временем, не дает усадки и хорошо переносит влажность и перепады температуры. Когда ее пропитывают эпоксидной смолой и дают затвердеть, получается жесткая пластина – ламель, которая способна значительно усиливать деревянные конструкции.

Клей в таких конструкциях выполняет роль промежуточного слоя, который связывает два материала с разными свойствами и обеспечивает передачу нагрузки между ними. Чтобы склеивать древесину с композитом, чаще всего применяют эпоксидные смолы. Их способность прочно сцепляться с поверхностью, практически полное отсутствие усадки при застывании и высокая стойкость к сдвиговым усилиям делают их весьма практичными и безотказными в эксплуатации.

Тем не менее, именно клеевой слой нередко становится наиболее уязвимой частью соединения. При слишком большой нагрузке разрушение чаще всего происходит либо напрямую в клеевом шве, либо в тонком слое древесины, который прилегает к этому шву. Поэтому качество клея, условия его нанесения и правильная подготовка поверхности играют ключевую роль в долговечности и прочности всего соединения.

Механизм работы соединения можно описать как систему, где при внешней нагрузке усилие передается от древесины через клей к композитной ламели. При этом вдоль интерфейса возникает распределение сдвиговых напряжений, максимум которых наблюдается

в краевых зонах соединения. От того, насколько равномерно эти напряжения распределяются, зависит долговечность конструкции.

Для оценки несущей способности клеевых соединений применяются лабораторные испытания на сдвиг или отрыв. Наиболее распространенный метод – односрезное и двухсрезное испытание образцов типа «дерево–клей–углеткань», где нагрузка прикладывается так, чтобы вызвать чистое сдвиговое напряжение в клеевом слое.

Образцы подготавливаются из древесины одной породы (часто – сосна или береза) с контролируемой влажностью. Поверхность тщательно шлифуется и обезжиривается для улучшения адгезии. На древесину наклеивается полоса из углеткани, пропитанной эпоксидной смолой, после чего соединение выдерживается до полного застывания.

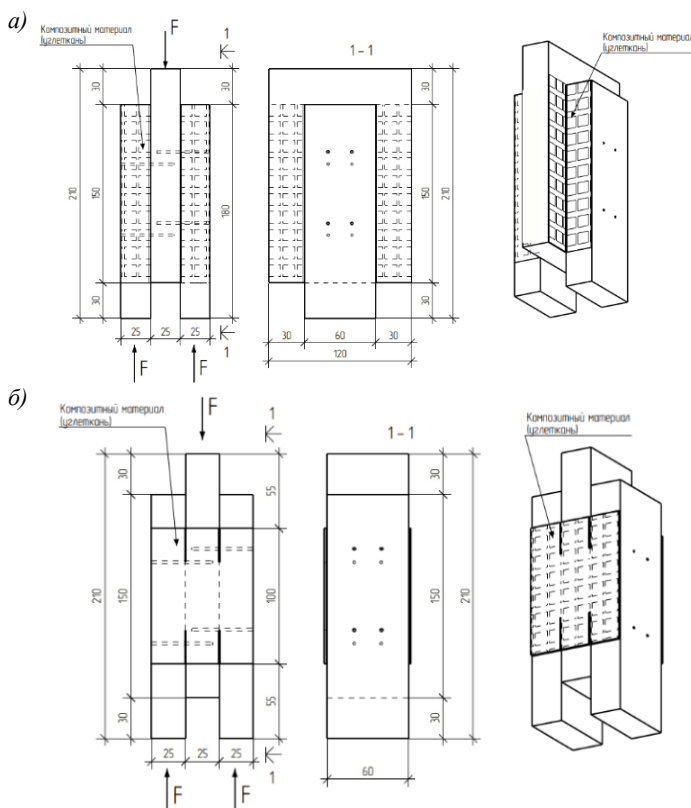


Рис. 2. Примеры образцов для испытания шва сдвига в клеевом соединении деталей из древесины композитными материалами: а – односрезное; б – двухсрезное испытание

Исследования показывают, что на работу клеевого шва при сдвиге влияет много факторов: толщина клеевого слоя, качество подготовки поверхности древесины, вид клея, условия его отверждения, жесткость и направление волокон углеткани, а также условия эксплуатации. Например, если слой клея слишком толстый, шов сильнее деформируется и теряет прочность. Если же он слишком тонкий, возникают высокие напряжения. Для эпоксидных клеев оптимальная толщина обычно составляет 0,1–0,3 мм.

Из этого можно сделать вывод, что использование композитных ламелей из углеткани для усиления деревянных элементов – это современный и надежный способ, чтобы увеличить прочность и долговечность конструкций без утяжеления и изменения их формы. Углепластик обладает высокой прочностью и хорошо выдерживает внешние воздействия, поэтому подходит как для ремонта старых деревянных элементов, так и для улучшения уже работающих конструкций.

Если правильно подготовить поверхность древесины, выбрать подходящую схему усиления и соблюдать технологию приклеивания, можно значительно повысить эксплуатационные свойства деревянных деталей. Такие усиленные элементы служат гораздо дольше и сохраняют свои характеристики на протяжении многих лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салатов, Е.К. Усиление деревянных конструкций композиционными материалами / Е.К. Салатов, А.С. Багай, С.В. Белкина. // Вестник МИТУ-МАСИ. – 2021. – №1 – С. 21–24.
2. Клюев, С.В. Внешнее армирование деревянных балочных конструкций композиционными материалами на основе углеродного волокна. / С.В. Клюев, Д.М. Лобов. // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2023. – №4 (109) – С. 3-5.
3. Линьков, Н.В. Несущая способность и деформативность соединений деревянных конструкций композиционным материалом на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Н.В. Линьков – Москва, 2010. – С. 7-8.
4. Тюрина, О.Е. Повышение прочности и жесткости деревоклееных балочных элементов с армированием композитными стержнями: дис... канд. техн. наук: 05.21.05 / О.Е. Тюрина – Архангельск, 2022. – С. 30-31.
5. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М.: Лесная промышленность, 1978 238 с.

УСИЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует несколько способов усиления сварных соединений, если мы говорим об угловых швах, то классическими методами являются: увеличение катета сварного шва и увеличение длины. Однако каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

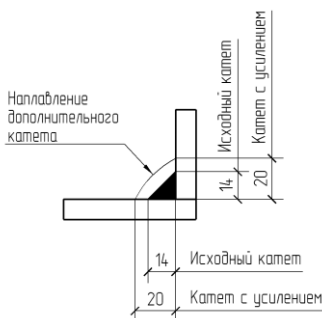


Рис. 1. Наплавка дополнительного катета

Увеличение катета происходит за счет наплавки дополнительного металла вдоль всей длины сварного соединения (рис. 1).

Данный способ имеет свои плюсы и минусы. Он отлично подходит для статически нагруженных конструкций, однако губительно сказывается на тех, которые подвержены динамическим нагрузкам. Например, для мостов, трубопроводов под давлением или автомобильных рам. Это происходит из-за того, что такой способ усиления

снижает усталостную прочность соединения, создает концентраторы напряжений в зонах усиления. Так же увеличивается риск ускоренной коррозии в зонах усиления.

Все это вынуждает сварщиков тщательно контролировать качество выполняемого шва и обуславливает достаточно высокую трудоемкость данного вида усиления.

Одним из главных плюсов увеличения катета является равномерное распределение нагрузки, которое испытывает соединение. Это позволяет не перегружать отдельные участки металла. Так же данный способ позволяет увеличить надежность сварного соединения, ведь чем больше катет, тем больше сечение и площадь прилегания наплавки к деталям.

Увеличение длины сварного шва так же распространенный способ усиления соединений конструкций. Он часто может использоваться там, где невозможно увеличить катет сварного шва. Например, в фермах, решетка которых состоит из спаренных уголков (рис. 2).

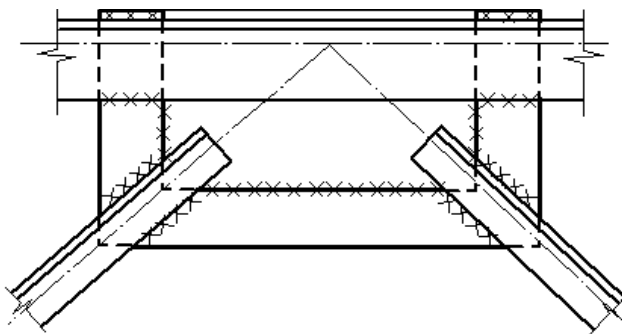


Рис. 2. Усиление увеличением длины шва

Данный вид усиления нивелирует риски возникновения дефектов в теле изначального шва, но требует, как правило, изготовление дополнительных накладок или пластин, на которых шов будет продолжен. Все это существенно увеличивает трудоемкость, особенно на строительной площадке.

Вышеперечисленные методы усиления так же объединены одним существенным минусом – термическими деформациями. Особенно этому подвержен тонкий металл, на котором хорошо видны пластические деформации.

На практике не всегда возможно наплавить дополнительный катет или подварить дополнительные пластины для удлинения шва.

Альтернативным способом усиления сварного шва не только на строительной площадке, но и в заводских условиях видится способ наклейки на шов лент из композитного материала, которые берут на себя часть нагрузки и работают, как «бандаж». Суть метода заключается в том, что на очищенный металл наносят специальный высокопрочный адгезив (обычно эпоксидный клей), а поверх шва клеят ленты из стекловолокна или углеродной ткани.

К плюсам данного метода можно отнести исключение термического воздействия на металл шва, простоту монтажа, высокую коррозионную стойкость и отсутствие концентраторов напряжений.

К минусам можно отнести требовательность к подготовке поверхности, нанесение на углеткань покрытия для защиты от ультрафиолета и возможность усиление шва только на растяжение, так как композитный материал на сжатие практически не работает.

Анализ уже имеющихся публикаций и статей в области усиления сварных швов показал, что тема композитных материалов вызывает глубокий интерес к исследованию и многие видят в ней потенциал для применения на практике. В частности, под руководством А.Р. Туснина был написан стандарт СТО 38276489.003-2017, который

распространяется на усиление стальных конструкций композитными материалами, в том числе ламелями на основе углеродных волокон. Так же под его авторством было защищено несколько докторских работ на тему усиления полки и стенки балки углетканью.

Объектом исследования являются опытные образцы, состоящие из предварительно сваренных металлических пластин, где сварные швы будут работать на сдвиг. Конструкция образца показана на рис. 3. Общее число образцов – 12 шт. Такое количество позволит попробовать разные варианты наклейки композитного материала, а также снизить общую погрешность исследования.

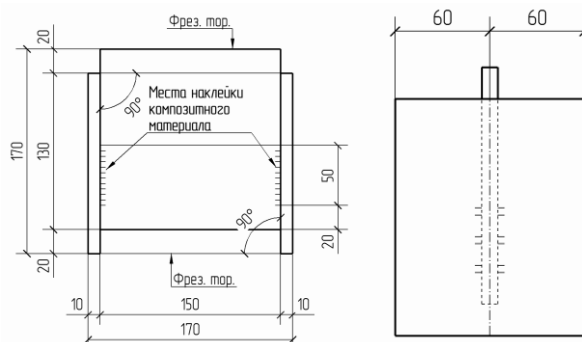


Рис. 3. Опытный образец основной вид и вид сбоку

Целью настоящей работы является увеличение несущей способности угловых сварных швов, воспринимающих усилие сдвига путем наклейки слоев композитного материала.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка, обоснование и изготовление опытных образцов для исследования;
- разработка и обоснование методики исследования;
- испытание опытных образцов и обработка полученных результатов;
- оценка эффективности усиления сварных швов;
- определение области применения.

Методы и средства исследования:

- экспериментальный метод;
- метод анализа;
- метод численного моделирования;
- программный комплекс TeklaStructures;
- стенд для испытаний образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- .В. Михаськин. К вопросу усиления изгибаемых стальных элементов при помощи стальных элементов при помощи углеволокнистых материалов // Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, г. Санкт-Петербург), 2023 г. ТО 38276489.003-2017. Усиление стальных конструкций композитными материалами // Москва, 2017 г.
- уров Е.О. Экспериментальные исследования углепластиковых композитных материалов в роли элемента усиления стальных конструкций // Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки. Уфа, 2019. С. 113-118.
- моляго Г.А., Обернихина Я.Л. Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 2. С. 15–27.
- ебров, И.С. Усиление металлических конструкций / И.С. Ребров. – Л.: Стройиздат, 1988. – 288 с.

**Тищенко А.Е., магистрант,
Кислинская Ю.В., магистрант,
Финогенов Р.С. магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Солодов Н.В.**

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИТНОГО УСИЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС: ОПЫТНЫЕ ОБРАЗЦЫ, ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Основными направлениями совершенствования строительных стальных конструкций являются: снижение металлоемкости; повышение качества и технологичности изготовления и монтажа; сокращение сроков возведения зданий и сооружений; снижение стоимости [1].

В процессе эксплуатации металлические конструкции нередко получают различные дефекты и повреждения: погибы элементов сечений (полок и стенок); уменьшения толщины за счет коррозии; ослабления вырезами. Результатом является снижение несущей способности по критериям прочности, общей или местной устойчивости [2].

Известно достаточно много вариантов конструктивных решений по усилению элементов сечений и восстановлению несущей способности изгибаемых элементов и элементов, испытывающих действия продольного усилия [3]. В ряде случаев в усилении нуждаются также конструкции без

дефектов и повреждений, если предполагается увеличение действующей на них нагрузки.

В последние годы активные исследования выполняются в направлении применения композитных материалов для усиления стальных конструкций [4]. Однако, пока эти исследования не ответили на многие вопросы связанные с характером работы усиленных конструкций, с влиянием усиления на параметры напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов сечений: как прочности, так и местной устойчивости. В связи с этим, тематика магистерских работ является актуальной.

Композитное усиление представляет собой использование материалов с высокой удельной прочностью и жесткостью. Композиты работают совместно с существующей стальной конструкцией, воспринимая часть нагрузки. Усиление может осуществляться ткаными композитными материалами, композитными панелями или композитными стержнями.

Для стальных полос выбран способ усиления ткаными композитными материалами. Преимущества такого усиления включают прочность, долговечность (до 50 лет и более), низкий вес, сохранение геометрии конструкции и возможность проведения работ без остановки объекта.

Цель экспериментального исследования: на основе опытных данных, полученных при испытаниях образцов на центральное растяжение и на изгиб получить количественные значения их жесткости и оценить эффективность композитного усиления.

Задачи экспериментального исследования:

- выполнить испытание стальных и композитных образцов на изгиб и центральное растяжение;
- выполнить испытание усиленных наклейкой композитных ламелей в один слой опытных образцов на изгиб и на центральное растяжение;
- выполнить испытание усиленных наклейкой композитных ламелей в два слоя опытных образцов на изгиб и на центральное растяжение;
- выполнить обработку и анализ опытных данных о параметрах жесткости образцов и дать оценку эффективности усиления.

Выбор в качестве объектов исследования стальных полос с наклеенными на них ткаными композитными ламелями обусловлен следующим. Сечение стальных конструкций в форме уголков, швеллеров, двутавров, замкнутых гнутосварных профилей образованы тонкими пластинами в виде полок, стенок, граней прямоугольных профилей. Каждая такая пластинка в составе сечения, в зависимости от характера напряженно-деформированного состояния конструкции в целом (изгиб,

сжатие, растяжение) может находиться в условиях восприятия растягивающих или сжимающих нормальных напряжений. В предельном состоянии элемент сечения (полка, стенка) или сечение в целом может исчерпать свою несущую способность по критерию прочности или местной устойчивости. Это, в свою очередь, может стать причиной выхода из строя всей конструкции. Таким образом, усиление можно производить за счет наклейки тканевых материалов, повышая сопротивляемость этого элемента действующим напряжениям. Если исследовать влияние композитного усиления на жесткостные параметры стальных полос, то можно в дальнейшем получить оценку влияния композитного усиления на несущую способность сечения в целом по критерию прочности и сжатых элементов его контура по критерию местной устойчивости.

В качестве модели усиления сечения конструкций в магистерской работе предполагается выполнить усиление стальных полос как элементов сечения. Предполагается изготовить образцы и испытать их без наклейки усиления, с наклейкой в один и два слоя.

Для получения количественной оценки эффективности усиления композитами стальных полос запланировано испытание 5 серий образцов:

- осевое растяжение композитных деталей усиления (образцы с маркировкой КР);
- осевое растяжение стальных полос с усилением их с двух сторон композитными деталями в один или два слоя (образцы с маркировкой УР);
- изгиб стальных полос с усилением с двух сторон композитными деталями в один или два слоя (образцы с маркировкой УИ);
- осевое растяжение стальных полос без усиления композитами (образцы с маркировкой СР);
- изгиб стальных полос без усиления композитами (СИ).

На рис. 1 показаны формы образцов для испытаний на растяжение и изгиб, а также образцы композитных деталей.

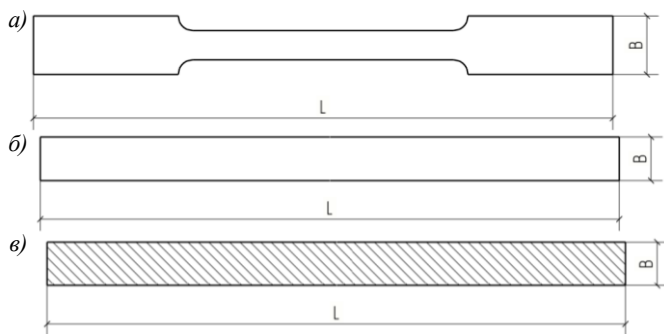


Рис. 1. Форма образцов: а – для испытаний на осевое растяжение; б – для испытаний на изгиб; в – композитных деталей

Количество и размеры всех образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика образцов

Маркировка	Кол-во	Толщина, мм	Длина L, мм	Ширина В, мм
Образцы типа КР				
КРЮ1	1		260	20
КРЮ2	2		260	20
КРН1	1		430	30
КРР1	2		430	30
Образцы типа УР				
УРЮ14	2	4	340	40
УРЮ16	2	6	400	40
УРЮ18	2	8	460	40
УРЮ112	2	12	510	40
УРЮ24	2	4	340	40
УРЮ26	2	6	400	40
УРЮ28	2	8	460	40
УРЮ212	2	12	510	40
Образцы типа УИ				
УИН12	1	2	470	30
УИН16	1	6	850	30
УИН110	1	10	870	30
УИН22	1	2	470	30
УИН26	1	6	850	30
УИН210	1	10	870	30
УИР11	1	1	300	20
УИР14	1	4	430	30
УИР18	1	8	870	30
УИР112	1	12	790	30
УИР21	1	1	300	20
УИР24	1	4	430	30
УИР28	1	8	870	30
УИР212	1	12	790	30
Образцы типа СР				
СРЮ4	2	4	340	40
СРЮ6	2	6	400	40
СРЮ8	2	8	460	40
СРЮ12	2	12	510	40
Образцы типа СИ				
СИН2	1	2	470	30
СИН6	1	6	850	30
СИН10	1	10	870	30
СИР1	1	1	300	20
СИР4	1	4	430	30
СИР8	1	8	870	30
СИР12	1	12	790	30

Размеры поперечных сечений стальных полос, их толщины и длины приняты такими, чтобы можно было охватить исследуемый диапазон гибкостей, погонной изгибной жесткости и осевой жесткости,

при испытаниях на изгиб и осевое растяжение. Учтено также выполнение требований к образцам в соответствии с ГОСТ 1497-2023.

Образцы на изгиб и осевое растяжение изготавливают в заводских условиях, путем вырезания деталей на станке с лазером, с последующей обработкой всех кромок и поверхностей и подгонкой под проектные размеры

Всего будет испытано:

- 16 усиленных образцов (усиление в 1 или в 2 слоя) на осевое растяжение;
- 14 усиленных образцов (усиление в 1 или в 2 слоя) на изгиб;
- 8 образцов без усиления на осевое растяжение;
- 7 образцов без усиления на изгиб;
- 6 образцов композитной ткани на растяжение.

Расчетные схемы для испытания образцов представлены на рис. 2.

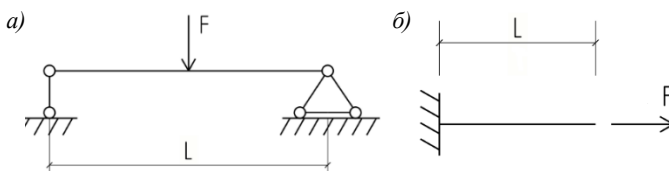


Рис. 2. Расчетные схема для испытания образцов: *a* – на изгиб; *б* – на осевое растяжение

Испытание образцов на центральное растяжение предполагается выполнять в гидравлической универсальной установке. Суть методики испытаний для определения осевой жесткости в гидравлической установке заключается в создании контролируемой осевой нагрузки, в измерении вызванного ею осевого перемещения и в расчете осевой жесткости как отношения этих значений. Для этого образец закрепляют в установке, к нему прикладывают последовательно возрастающие силы, а датчики фиксируют соответствующие деформации в продольном направлении, после чего строят график зависимости "нагрузка-перемещение".

Испытания изгибной жесткости будут проводиться в силовой раме. Суть методики испытаний изгибной жесткости в силовой раме заключается в приложении контролируемой нагрузки к образцу, закрепленному в силовой раме, и измерении его деформации (изгиба). На основе полученных данных рассчитывается изгибная жесткость, которая характеризует способность объекта сопротивляться изгибу, путем определения отношения изгибающего момента к вызванной этим моментом кривизне.

Для количественной оценки жесткости опытных образцов предполагается использовать экспериментальные данные о нагрузке на

опытные образцы, данные об их деформировании под нагрузкой, а также характер их работы на приложенную нагрузку.

При испытаниях на центральное растяжение фактическая величина осевой жесткости $(AE)_{\text{экв}}$ опытных образцов, усиленных композитными ламелями, может быть найдена по формуле:

$$(AE)_{\text{экв}} = \frac{F_{\text{эксп}} l}{\Delta l_{\text{эксп}}} \quad (1)$$

Фактическая величина изгибной жесткости опытных образцов, усиленных композитными, может быть найдена по формуле:

$$(JE)_{\text{экв}} = \frac{F_{\text{эксп}} l^3}{48 f_{\text{эксп}}} \quad (2)$$

где F – приложенная нагрузка; l – длина или пролет испытанного образца в соответствии с расчетной схемой при испытаниях; $\Delta l_{\text{эксп}}$ и $f_{\text{эксп}}$ – соответственно, фактическое удлинение и прогиб при испытаниях образца на действие нагрузки $F_{\text{эксп}}$.

При анализе опытных данных и оценки их эффективности полагаем, что:

– $(AE)_{\text{экв}} = A_0 E_0 + \Delta EA$, где: $A_0 E_0$ – осевая жесткость стального испытанного образца до усиления; ΔEA – добавленная осевая жесткость усиленного испытанного образца при испытании на центральное растяжение;

– $(EJ)_{\text{экв}} = J_0 E_0 + \Delta JE$, где: $J_0 E_0$ – изгибная жесткость стального испытанного образца до усиления; ΔJE – добавленная изгибная жесткость усиленного испытанного образца при испытаниях на изгиб.

Эффективность усиления будем оценивать следующим образом:

- при центральном растяжении – $\mathcal{E}_{\text{ц.р.}} = \frac{\Delta AE}{A_0 E_0}$;
- при изгибе – $\mathcal{E}_{\text{изг}} = \frac{\Delta EJ}{J_0 E_0}$.

Кроме того, в качестве исследуемых параметров усиленных опытных образцов предполагается получить данные о величине их гибкости с учетом влияния композитного усиления. Для этих целей предполагается по формулам для гибкости λ центрально растянутого стержня – $\lambda = \frac{l}{i}$ и для гибкости стенки балки двутаврового сечения – $\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w}$. При этом опытные образцы условно будем считать: в первом случае – центрально растянутым элементом с расчетной длиной равной его геометрической длине при испытаниях; во втором случае – $h_{ef} = \lambda_w = l$.

Исходя из изложенного ранее, можно сделать предположение о том, что усиление стальных элементов композитными материалами приведет к увеличению их прочности, жесткости и несущей способности. Это также повышает их долговечность, устойчивость к вибрациям и усталости, а также позволяет восстановить или улучшить

характеристики, поврежденные коррозией или другими факторами. В результате конструкция становится более надежной, что особенно важно в случае перегрузок или износа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щуров Е.О. Несущая способность растянутых и изгибаемых стальных стержней, усиленных углепластиковыми композитными материалами // НИУ МГСУ, 2021.
2. Рязанцев В.Ю. Методы усиления и восстановления зданий и сооружений с использованием элементов внешнего армирования из углеволокна / В.Ю. Рязанцев, В.А. Беляев // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – 05.04.2013.
3. Ребров, И.С. Усиление металлических конструкций / И.С. Ребров. – Л.: Стройиздат, 1988. – 288 с.
4. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Покусаев К.В., Татиев Д.А. О разработке нормативных документов по усилению металлических строительных конструкций композитными материалами // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации и исследования в транспортном комплексе». – Курган. 2014.
5. Щуров Е.О. Экспериментальные исследования углепластиковых композитных материалов в роли элемента усиления стальных конструкций // Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки. Уфа, 2019. С. 113-118.
6. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л. Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 2. С. 15–27. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-15-27.

Юрченко Э.В., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Обернихин Д.В.**

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

КЛЕЕДЕРЕВЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, АРМИРОВАННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКОМ

Развитие современных строительных технологий ориентировано на создание эффективных, ресурсосберегающих и экологических конструкций. В этом контексте клеедеревянные конструкции (КДК) занимают значимое место благодаря использованию возобновляемого материала – древесины, обладающей высокими эстетическими и прочностными характеристиками. Однако при проектировании изгибаемых элементов, таких как балки и ригели, ключевыми лимитирующими факторами часто выступают не только прочность, но

и деформативность. Превышение предельных прогибов, регламентируемых нормами, приводит к нарушению условий эксплуатации и комфорта.

Традиционное увеличение высоты сечения для обеспечения жесткости не всегда является архитектурно и экономически оправданным, особенно при больших пролетах. Одним из перспективных направлений повышения жесткости и прочности КДК является их армирование высокопрочными композитными материалами, в частности, углепластиком (рис. 1).



Рис. 1. Армированные конструкции

Исследование влияния такого армирования на поведение изгибаемых элементов представляет значительный научный и практический интерес [1].

Под деформативностью в расчетах строительных конструкций понимается их способность сопротивляться изменению формы под воздействием нагрузок, что количественно выражается в величинах прогибов и углов поворота. Для изгибаемых элементов расчет по деформациям является не менее важным, чем расчет по прочности. Обеспечение жесткости необходимо для:

- нормальной эксплуатации – предотвращения повреждений отделки, динамического дискомфорта;
- «визуальной» надежности – исключения психологически неприемлемых прогибов;
- обеспечения совместной работы конструкций, например, корректной работы ограждающих элементов, опирающихся на балки.

Углепластик представляет собой композитный материал на основе высокопрочных углеродных волокон, связанных полимерной матрицей.

Его применение в строительстве для усиления конструкций обусловлено уникальным сочетанием свойств:

- высокая прочность при растяжении, значительно превышающая показатели конструкционной стали
- высокий модуль упругости
- низкая плотность и высокая коррозионная стойкость [2].

Принцип армирования заключается в том, что углепластиковые ламели или листы наклеиваются на растянутую зону изгибаемого элемента. При этом создается композитная система, в которой материалы работают в области своих преимуществ: древесина воспринимает сжатие, а углепластик – растяжение. Это позволяет не только повысить несущую способность, но и существенно увеличить жесткость сечения, так как углепластик включается в работу на растяжение.

Проведенный анализ литературных данных позволил выявить следующие закономерности:

Рост жесткости. Армирование даже незначительным процентом (1-3 %) от площади поперечного сечения древесины) приводит к существенному снижению прогибов. При одинаковой нагрузке прогиб армированной балки на 15-30 % меньше, чем у неармированного аналога. Это подтверждается данными экспериментальных исследований, где наблюдалось увеличение модуля упругости системы в среднем на 20 % [3].

Изменение диаграммы «нагрузка-прогиб» (рис. 2).

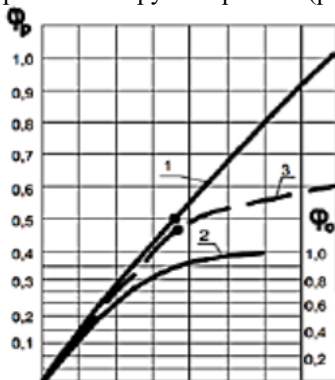


Рис. 2. Диаграмма работы древесины: 1 – при растяжении; 2 – при сжатии; 3 – при сжатии, для армированной древесины

Для неармированной балки характерна нелинейность диаграммы, связанная с развитием пластических деформаций в растянутой зоне.

Армированная балка демонстрирует более линейное поведение вплоть до стадии, близкой к разрушению. Углепластик, обладающий упругими свойствами вплоть до разрушения, сохраняет целостность сечения и его жесткость [4].

Можно сделать следующие выводы:

Технология внешнего армирования клеедеревянных балок углепластиком является высокоэффективным методом повышения их жесткости (деформативной способности).

Основной механизм влияния заключается в перераспределении усилий: углепластик воспринимает растягивающие напряжения, снижая деформации растянутой зоны и, как следствие, общий прогиб элемента.

Армирование не только увеличивает начальную жесткость, но и делает деформации элемента более линейным и предсказуемым, а также положительно влияет на сопротивление длительным деформациям.

Применение данной технологии позволяет проектировать большепролетные клеедеревянные конструкции с улучшенными эксплуатационными характеристиками, а также эффективно усиливать существующие объекты [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агапов А. А., Есипов С. М. Усиление конструкций углеволокном в 21 веке // Инновационная наука. 2023. №1-1. С. 6-7.
2. Лазарев Александр Львович, Полторацкий Дмитрий Михайлович, Танякин Илья Алексеевич Практическая реализация методов проектирования внешнего армирования деревянных элементов на основе функционально-градиентных композиционных материалов // Огарев-Online. 2018. №9 (114). С. 2-3.
3. Клюкин А. А. Опыт исследований зарубежных инженеров по усилению деревянных конструкций композиционными материалами // ИВД. 2022. №5 (89). С. 3-4.
4. Стоянов В. В., Жгалли Ш. Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2016. №1 (349). С. 4-6.
5. Стоянов В. О. Прочность и деформативность изгибаемых деревянных элементов, усиленных полимерными композитами //ВО Стоянов–Москва. – 2018. С. 24-25.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Алаторцева М.А., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Бовтеев С.В.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

МЕТОДЫ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Строительство промышленных комплексов – это сложный, многоэтапный процесс, требующий четкой координации сотен операций, множества подрядчиков и огромных материальных ресурсов.

Под промышленными и энергетическими комплексами (рис. 1) подразумевают крупные взаимосвязанные системы объектов, сооружений и технологических процессов, предназначенные для производства, преобразования, передачи и распределения материальных и энергетических ресурсов.



Рис. 1. Ярославский завод нефтехимического машиностроения

Промышленные комплексы объединяют в себе производственные предприятия (заводы, фабрики, комбинаты); складские и логистические узлы; инженерные сети и коммуникации; вспомогательные и обслуживающие объекты (ремонтные цеха, лаборатории, административные здания).

Применение 4D-моделирования особенно актуально [1] при возведении промышленных зданий. Это обусловлено рядом существенных факторов, таких как уникальность проектов промышленных объектов, сложность технологических процессов, многокомпонентность конструкций промышленных зданий, необходимость аудита критически важных процессов строительства. Моделирование объекта с помощью 4D-модели позволяет проверить организационно технологические решения на каждом этапе строительства и произвести аудит самых важных процессов таких как возведение каркаса, установка оборудования инженерных систем.

4D-модель объекта создается путем интеграции 3D-модели с календарно-сетевым планированием. 4D-модель позволяет выявлять пространственно-временные конфликты в проектной документации и своевременно корректировать график строительства. Также она дает возможность наглядно представить последовательность работ и проанализировать противоречия между расположением объектов и сроками их возведения, оптимизируя планирование.

Корректировка плановых сроков работ в календарно-сетевом графике [2], а также учет фактических сроков выполнения работ оперативно находят отражение во всех известных системах 4D-моделирования. Если разработчик календарно-сетевого графика добавил новые и/или удалил запланированные ранее работы, то пользователь 4D-модели обнаружит эти изменения сразу после ее синхронизации с графиком, что может потребовать пересмотра и изменения связей между элементами 3D-модели и работами обновленного графика, но не потребует переделки всей 4D-модели.

Для возможности минимизации трудовых затрат на этапе разработки 4D-моделей, рекомендуется [3] произвести:

- нарезку 3D-элементов в соответствии с делением объекта на захватки;
- кодирование 3D-элементов в соответствии с заранее установленными правилами;
- кодирование работ календарно-сетевого графика строительства для последующей автоматической синхронизации графика и 3D-модели.

Помимо информационного моделирования при строительстве промышленных и энергетических комплексов активно применяют календарно-сетевое планирование, которое выступает важнейшим механизмом управления, решая ряд критически важных задач, таких как: оптимизация сроков реализации проекта, эффективное управление ресурсами, координация участников проекта, снижение финансовых затрат, а также повышает прозрачность и управляемость процесса на всех этапах.

В числе основных подходов при планировании строительства промышленных и энергетических комплексов выделяют узловой и пакетно-узловой методы.

В 1970–1980-х гг. в СССР проводились научные исследования [4] в области системотехники строительства, технологии и организации строительных процессов. Был разработан «узловой» метод организации промышленного строительства, но отсутствие необходимых информационных технологий не позволило широко внедрить эти разработки.

В руководстве по применению узлового метода (1982 г.) [5] указано, что сущность узлового метода заключается в том, что в составе пускового комплекса выделяются конструктивно и технологически обособленные части – узлы для организации целенаправленного и технологически обоснованного производства работ и достижения в возможно короткие сроки технической готовности для автономного опробования и наладки отдельных технологических линий, отделений и установок.

Под узлом подразумевают конструктивно и технологически обособленную часть подлежащего возведению промышленного комплекса (объекта), техническая готовность которой после завершения строительно-монтажных работ позволяет провести пусконаладочные работы и опробование агрегатов, механизмов и устройств.

При выделении узлов требуется соблюдать баланс между технической целесообразностью и организационной эффективностью. Каждый узел должен представлять собой законченную конструктивную единицу, обладающую пространственной устойчивостью и способную функционировать как самостоятельный элемент промышленного комплекса. Важно, чтобы в рамках узла завершался отдельный технологический цикл производства, что позволяет проводить пусконаладочные работы и оформлять сдачу объекта заказчику по рабочему акту.

Не менее значимо грамотно распределить ответственность: за каждым узлом целесообразно закрепить ведущего исполнителя, профиль которого соответствует преобладающему типу работ. Это способствует организации поточного выполнения задач и повышает эффективность использования строительной техники. Кроме того, необходимо предусмотреть оперативный доступ для смежных организаций – это минимизирует простои и обеспечивает слаженность всего строительного процесса. Таким образом, продуманное формирование узлов становится ключевым фактором успешной реализации промышленного объекта узловым методом.

По функциональному назначению узлы подразделяют на технологические, строительные и общеплощадочные.

Технологический узел – конструктивно обособленная часть технологической линии (установки), в границах которой производятся строительно-монтажные работы до достижения технической готовности, необходимой для проведения наладки и опробования агрегатов, механизмов и устройств.

Строительный узел представляет собой здание (сооружение) основного производственного назначения или его конструктивно обособленная часть, в пределах которой производятся строительно-монтажные работы до технической готовности, необходимой для передачи узла под механомонтажные работы.

К общеплощадочным узлам в свою очередь относятся объекты административно-бытового и подсобно-вспомогательного назначения; электро- и энергоснабжение; обратное водоснабжение; транспортное хозяйство, а также работы по подготовке территории строительства и благоустройству промышленной площадки.

В сложных узлах допустимо выделять подузлы – это ускоряет строительство благодаря параллельному выполнению работ. Подузел – фрагмент узла, где строительно-монтажные работы доводятся до готовности для последующих пусконаладочных операций и тестирования оборудования.

Еще одной методологией, помогающей грамотно организовать работы по строительству промышленных комплексов, является методология прогрессивного пакетирования работ (АВР). Она представляет собой яркий пример синергии, где практический подход и современные информационные технологии формируют новый подход в строительстве. Сегодня эта методология активно развивается и совершенствуется под руководством Construction Industry Institute (CII), что способствует ее дальнейшему внедрению и адаптации в строительной отрасли.

В результате адаптации данной методологии к российским условиям был сформирован пакетно-узловой метод (ПУМ), отражающий современные подходы к управлению строительными проектами в РФ.

В числе основных этапов разработки ПУМ выделяют [6]:

1. Деление объекта на конструктивно-технологические узлы КТУ, пакеты строительно-монтажных работ ПСМР. Объект разбивают на конструктивно-технологические узлы (КТУ) вплоть до уровня, соответствующего отдельным зданиям. Каждый нижний КТУ затем делят на пакеты строительно-монтажных работ (ПСМР) по проектным маркам или дисциплинам с учетом технологических и ресурсных ограничений. ПСМР детализируют до бригадных пакетов работ (БПР) –

заданий для одной бригады сроком до двух недель. Совокупность БПР должен охватывать весь объем проектных работ.

2. Создание системы связанных между собой пакетов различного назначения ПСМР, ППИР, ЗПР, ППНР. Формируются и взаимоувязываются пакеты работ различных типов: строительно-монтажные (ПСМР), проектно-инжиниринговые (ППИР), закупочные (ЗПР) и пусконаладочные (ППНР).

3. Определение оптимального пути строительства (ОПС). Это схема очередности работ, обеспечивающая эффективное возведение объекта. По мере развития проекта детализация схемы увеличивается. ОПС остается в плане строительства вплоть до сдачи объекта в эксплуатацию.

4. Тотальное управление ограничениями для всех видов пакетов работ на всех фазах инвестиционно-строительного проекта (ИСП). В документации СП ограничения определяются как любые факторы – будь то информация, инструменты, материалы, оборудование, трудности с доступом или иные обстоятельства, – препятствующие полноценному и безопасному выполнению работ.

5. Планирование фронтов работ (ПФР). Это процесс обеспечения бригадных пакетов работ (БПР) всеми требуемыми ресурсами: документацией, материалами, оборудованием, техникой, вспомогательными конструкциями и т. п. Подготовка осуществляется до старта работ в строгом соответствии с календарно-сетевым графиком (КСГ).

Внедрение данной методологии предполагает настройку типовых решений под специфику организации и особенности реализуемых проектов. Методология позволяет интегрировать корпоративный опыт в инженерные разработки и проектный менеджмент. Ее эффективность в управлении проектами и снижении затрат обеспечивается индивидуальной настройкой решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бовтеев, С. В. Применение 4D моделей в строительстве / С. В. Бовтеев // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы IV Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 02–03 ноября 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2021. – С. 32.

2. Бовтеев С.В., Колесников С.В., Шерстобитова П.А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2024. № 4. С. 276-284.

3. Бовтеев С.В. Практика применения 4D-моделирования в строительстве // BIM-моделирование в задачах строительства и

архитектуры: материалы IV Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 77-84.

4. Geoff Ryan P.M.P Advanced Work Packaging, for Construction Projects в переводе на русский язык Прогрессивное пакетирование работ для строителей / Под ред. М. О. Гришина / Перевод с англ. / Москва: 2023. - 128 с.

5. Руководство по применению узлового метода проектирования, подготовки, организации и управления строительством сложных объектов и крупных промышленных комплексов - М.: Стройиздат, 1982. - 40 с.

6. Гришин М.О., Шабунин А.В. Методология “пакетно-узловой метод 4.0” (ПУМ 4.0) при управлении строительными проектами: основные положения / Управление проектами и программами. 2022. № 4. С. 264-279.

Басова Д.Н., студент

Научный руководитель: ст. преп.

Саркисова Е.Б.

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

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Современный этап развития строительной отрасли характеризуется активной цифровой трансформацией, ключевым элементом которой выступает технология информационного моделирования (ТИМ). Создание цифровой информационной модели (ЦИМ) перестало быть инновацией и превратилось в насущную необходимость, обеспечивающую повышение качества, сокращение сроков и стоимости жизненного цикла объектов капитального строительства [1, 2]. В данной статье рассматривается практический опыт разработки такой модели для многоэтажного жилого дома с учетом актуальных требований нормативной базы.

Основой для корректного формирования ЦИМ служит строгое следование установленным стандартам. В Российской Федерации процесс информационного моделирования регламентируется рядом ключевых документов.

СП 333.1325800.2020 определяет правила формирования информационной модели на всех стадиях жизненного цикла объекта, что делает его фундаментальным для любого BIM-проекта [3].

Важную роль играет ГОСТ Р 57563-2017, закладывающий базовые принципы разработки стандартов информационного моделирования зданий и сооружений [4].

Вопросы обеспечения совместимости данных регулируются СП 331.1325800.2017, который устанавливает правила обмена между информационными моделями и программными комплексами [5].

Практическая реализация проекта по созданию ЦИМ рассматриваемого жилого дома была выполнена в отечественном программном комплексе Renga. Выбор был обусловлен его адаптированностью к российским стандартам, интуитивно понятным интерфейсом и достаточным функционалом для решения поставленных задач. Для автоматизации рутинных операций, таких как наполнение элементов модели требуемыми свойствами, активно использовался плагин ModPlus.

Процесс моделирования был последовательно разделен на несколько логических этапов:

1. Раздел конструктивных решений (КР). На начальном этапе выполнялось моделирование несущего каркаса здания: колонн, плит перекрытия и несущих стен (рис. 1). Критически важной предпосылкой стала предварительная разработка шаблона проекта с настроенными материалами и свойствами, требования к которым были строго формализованы Московской государственной экспертизой.



Рис. 1. Моделирование раздела КР

2. Архитектурные решения (АР). На основе готового каркаса создавались архитектурные элементы: фасады, оконные и дверные проемы. Свойства модели использовались для обозначения внутренней отделки помещений, что в дальнейшем позволило автоматизировать формирование соответствующих ведомостей и спецификаций.

3. Инженерно-технические системы (ИОС). Моделирование инженерных сетей начиналось с расстановки оборудования и точек

трассировки (рис. 2). Последующим шагом было объединение этих элементов в единые системы (водоснабжения, канализации, отопления), что обеспечило возможность автоматического получения аксонометрических схем и подсчета объемов материалов (рис. 3).



Рис. 2. Расстановка точек трассировки

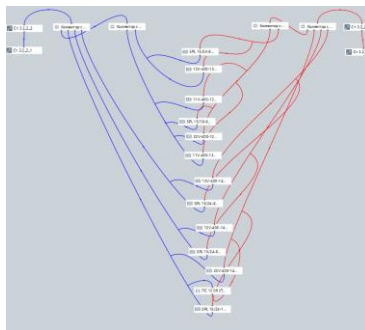


Рис. 3. Подключение оборудования к точкам трассировки

4. Верификация и экспорт. Для контроля качества и проверки на коллизии применялись программы Pilot BIM и Tangle, которые позволили визуализировать сводную модель и идентифицировать конфликтующие элементы между различными разделами (рис. 4, 5). Завершающей стадией стала подготовка модели к экспорту в открытый формат IFC, включающая процесс маппинга – сопоставления параметров модели Renga со стандартными атрибутами IFC для обеспечения корректного обмена данными.



Рис. 4. Сводная модель в Pilot BIM

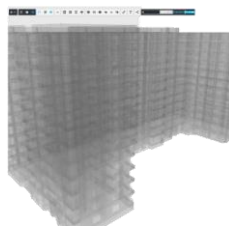


Рис. 5. Сводная модель в Tangle

Результаты проведенной работы наглядно демонстрируют, что успешная разработка ЦИМ является комплексной задачей, выходящей за рамки трехмерного моделирования. Ключевыми факторами успеха выступают:

- глубокое знание и неукоснительное следование нормативной базе;

- слаженное командное взаимодействие специалистов различных профилей;
- эффективное использование инструментальной среды, включая базовое ПО и вспомогательные плагины.

Таким образом, формирование цифровой информационной модели в соответствии с современными требованиями позволяет не только создать точный цифровой двойник объекта, но и заложить основу для эффективного управления им на всех этапах жизненного цикла. Перспективой для дальнейших исследований является углубление автоматизации процесса моделирования через использование API среды Renga для разработки специализированных скриптов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла», утвержден приказом Минстроя России от 31.12.2020 № 928/пр. 219 с
2. ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012 Информационное моделирование в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений: утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 29.07.2017 срок введ. в д. 01.10.2017. – 33 с.
3. ГОСТ Р 21.101-2020. СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации: – Взамен ГОСТ Р 21.1101-2013; введ. 2021-01-01. – Москва: Стандартинформ 2020. – 69 с.
4. СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах» утвержден приказом Минстроя России от 31.12.2017 № 658/пр. 205 с
5. СП 404.1325800.2018 «Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования», введ. 18.06.2019 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год – 124с.
6. Kjartansdóttir I. B. et al. Building information modelling-BIM. – Warsaw, Poland: Civil Engineering Faculty of Warsaw University of Technology, 2017.
7. Войтова Ж. Н., Малютина Т. П. Инструменты построения модели строительного объекта в BIM-технологиях //Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2019. – №. 3. – С. 33-37.

**Бачкала В.О., студент,
Манаков Н.А., студент,
Гущин Д.А., студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Овсяников С.И.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Деревянные здания и конструкции – это не только традиционный материал, но и современное решение в архитектуре [1-5]. Древесина является экологически чистым, возобновляемым материалом и обладает отличными теплоизоляционными свойствами, что делает ее идеальным для строительства жилых домов, коттеджей, мостов и даже многоэтажных зданий [3, 4]. С ростом интереса к устойчивому развитию и зеленым технологиям, проектирование деревянных строений становится все более актуальным. По данным на 2023 г., рынок деревянного строительства растет: в Европе и Северной Америке деревянные строения и конструкции используются в проектах от небольших домов до многоэтажек [2]. В России наиболее популярными являются каркасные и бревенчатые дома.

Однако проектирование таких объектов требует точных расчетов, учета нагрузок, влажности и связанных с ней деформаций древесины. Ручные методы устарели – на помощь приходят специализированные программы, которые автоматизируют процесс, снижают ошибки и ускоряют работу. Эти инструменты позволяют создавать 3D-модели, проводить симуляции и генерировать чертежи, что особенно важно для соблюдения норм безопасности и эффективности [4].

При выборе ПО для проектирования деревянных конструкций важно учитывать несколько ключевых критериев.

Удобство использования: интерфейс должен быть интуитивно понятным, с возможностью быстрого освоения ключевых моментов. Для новичков подойдут программы с обучающими видеороликами и текстовой инструкцией.

Функциональность: программы должны поддерживать BIM (Building Information Modeling), интеграцию с другими плагинами и специализированными модулями для построек из древесных материалов, такие как расчет прочности и моделирование каркасов.

Точность расчетов: важны алгоритмы для точного анализа нагрузок, деформаций и устойчивости строений. Расчеты по стандартам

Eurocode или СНиП должны быть встроенными в программу или модули.

Это полезно для презентаций клиентам или проверки эстетики.

Эти критерии особенно актуальны в настоящее время, когда программы эволюционируют к облачным решениям и ИИ-интеграции для еще большей точности.

Рассмотрим несколько популярных программ, используемых для проектирования деревянных конструкций. Мы акцентируем внимание на ArchiCAD, AutoCAD с плагинами, K3 Коттедж и Dietrich's. Каждая из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки.

ArchiCAD – это мощная BIM-платформа от Graphisoft, ориентированная на архитекторов [5]. Она отлично подходит для деревянных конструкций благодаря встроенным инструментам для моделирования каркасных, бревенчатых и CLT (Cross-Laminated Timber) элементов. Например, вы можете быстро создать модель деревянного коттеджа, рассчитать нагрузки на балки и визуализировать интерьер с текстурами дерева.

Программа имеет высокую точность расчетов с интеграцией в модули вроде ArchiCAD's Structural Analysis; отличную визуализацию 3D-модели с фотореалистичным рендерингом и VR-экспортом; удобство для командной работы благодаря облачной синхронизации.

Однако пользование программой сдерживается высокой стоимостью лицензии (от 2000 евро в год); крутая кривая обучения для новичков, хотя есть обучающие ресурсы. Программа менее специализирована на чисто деревянных расчетах по сравнению с нишевыми инструментами.

Высочайшая точность расчетов для деревянных элементов. Специализация: инструменты для оптимизации материалов и снижения отходов.

Например, с Dietrich's вы можете моделировать деревянный каркас многоэтажного здания с автоматическими проверками на прочность.

AutoCAD – универсальный CAD-инструмент от Autodesk, который сам по себе не специализирован на деревянных постройках, но с плагинами (например, от WoodCAD или TimberTech) становится мощным для деревянных проектов. Плагины добавляют функции для проектирования ферм, стропил и каркасов. Например, с плагином TimberCAD вы можете моделировать деревянный мост, рассчитывать прочность и генерировать чертежи.

Преимущества:

– гибкость: подходит для любых масштабов проектов, от чертежей до сложных моделей;

- широкая совместимость с другими программами (Revit, Inventor);
- бесплатная версия AutoCAD Web для начинающих.

Недостатки:

- без плагинов AutoCAD не имеет встроенных расчетов для конструкций из древесины – приходится докупать;
- интерфейс может быть перегруженным для простых задач;
- точность зависит от плагина; не все бесплатны.

КЗ Коттедж КЗ Коттедж – российская программа, разработанная компанией "КЗ" для проектирования деревянных домов. Она включает модули для каркасных, бревенчатых и панельных конструкций. Например, вы можете быстро спроектировать коттедж с расчетом фундамента, стен и крыши, включая спецификации материалов. Преимущества: Специализация на русском рынке: адаптирована к СНиП и местным нормам. Простота использования: интуитивный интерфейс с готовыми шаблонами. Доступная цена (от 10 000 рублей за лицензию). Недостатки: Ограниченная визуализация по сравнению с BIM-программами. Меньше интеграций с международными стандартами. Подходит преимущественно для небольших проектов.

Dietrich's Software предлагает линейку программ, таких как Dietrich's Design Suite, специализированных на деревянном строительстве (каркасы, фермы, CLT). Они используются в Северной Америке для точных расчетов по стандартам NDS (National Design Specification).

Преимущества: Хорошая интеграция с CAD-программами. Недостатки: Дорогая (от 5000 долларов). Ориентирована на англоязычный рынок; русскоязычная поддержка ограничена. Сложна для новичков без опыта в деревянном строительстве.

Выбор программного обеспечения зависит от размера проекта и личного опыта проектировщика: для небольших проектов (частные дома, коттеджи) целесообразно начинать с КЗ Коттедж – она простая и недорогая. Для более продвинутых пользователей можно выбрать ArchiCAD для визуализации. Масштаб: до 500 м². Для средних и крупных проектов (многоэтажные здания, мосты): AutoCAD с плагинами или Dietrich's обеспечат точные расчеты. Для более профессиональных задач обычно используют интеграцией с BIM при масштабе от 500 м² и выше. Начинающие специалисты выбирают программы с туториалами (ArchiCAD, КЗ). Профессионалы – в основном используют кастомизацию (AutoCAD, Dietrich's). Важную роль при выборе плагинов оказывают стоимость пользования – бесплатные/дешевые варианты для тестов, платные для серьезной

работы. Также необходимо учитывать совместимость с вашим компьютером и наличие облачных версий.

Таким образом можно сделать следующий вывод, что для начинающих и профессионалов рекомендуется использование КЗ Коттедж или бесплатную версию AutoCAD. Они помогут освоить основы без перегрузки функциями. Простота интерфейса, интуитивное освоение пользователем делают их простыми и доступными. Профессионалы в большинстве своем используют специальное ПО - ArchiCAD или Dietrich's. Все чаще пользователи обращают внимание на обновления с ИИ и для выполнения автоматизации расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ovsyannikov S.I., Dyachenko V.Y. Wooden nano-composite materials and prospects of their application in wooden housing construction // *Wooden Nano-Composite Materials and Prospects of their Application in Wooden Housing Construction: Materials Science Forum*, 2018. №939. С. 583-588. doi:10.4028 / www.scientific.net / MSF.931.583

2. 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: БГТУ им В.Г.Шухова 2017. С. 309-315.

3. Овсянников С.И., Ковш А.Ю. Особенности экспертизы в деревянном домостроении // *Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): Сборник докладов международной научно-практической конференции*. Белгород: БГТУ им В.Г.Шухова 2017. С. 303-309.

4. Овсянников С.И., Радионов А.С. Экспертиза в деревянном домостроении // в сборнике: *Современные технологии деревообрабатывающей промышленности*. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. Белгород: БГТУ им В.Г.Шухова 2018. С. 277-282.

5. Овсянников С., Подгорный И. Новые подходы в фахверковом строительстве. Saarbuken: LAPLAMBERT, 2020. 109 с.

6. Dietrich's. Программное обеспечение 3D CAD/CAM для деревянного домостроения. Официальный сайт. / URL: <https://www.dietrichs.com/ru/> (Дата обращения 28.09.2025 г.)

7. К-3 Коттедж Программное обеспечение для деревянного домостроения. Официальный сайт // [Электронный ресурс]: точка доступа URL: <https://k3-cottage.ru/> (Дата обращения 20.10.2025)

Бурунов Г.А., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Чаккиев И.М.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ДРОНОВ

В статье рассматриваются современные подходы к автоматизации строительных процессов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дроны). Произведен анализ основных технологий, методики и преимущества внедрения дронов в строительную сферу, а также рассмотрены перспективы развития для повышения эффективности, безопасности и качества строительства [1-4].

Строительная сфера постоянно ищет инновационные решения для повышения эффективности и сокращения затрат. Одним из перспективных направлений является использование беспилотных летательных аппаратов для автоматизации строительных процессов. Они позволяют исполнять задачи, ранее требовавшие больших затрат времени и ресурсов, быстрее и безопаснее [1-4].

Цель данной статьи – анализ возможностей и эффективности применения дронов в строительстве

Внедрение дронов в строительные процессы предполагает комплексное внедрение беспилотных летательных аппаратов для решения различных задач, что позволяет значительно ускорить выполнение таких работ как: съемочные, геодезические измерения, точность установки в проектное положение, а также отклонения [1-4]. Современные решения позволяют интегрировать дроны в работу с системами управления проектами и BIM-технологиями, тем самым ускоряя процесс цифровизации строительных процессов и повышая их эффективность.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) охватывает практически все этапы жизненного цикла строительного объекта, начиная с подготовительных работ и заканчивая эксплуатацией [5]. Одним из наиболее распространенных и эффективных направлений является мониторинг и контроль строительства. Оборудованные камерами высокого разрешения, видеомодулями и лидарами (Light Detection and Ranging) [6], дроны позволяют в режиме, близком к реальному времени, получать актуальные данные о ходе работ. Оператор или инженер-проектировщик может дистанционно проверить соответствие выполняемых работ проектным решениям, проконтролировать соблюдение технологических последовательностей и оперативно выявить возникающие отклонения, такие как несоответствие геометрии конструкций или нарушения в

организации стройплощадки. Это заменяет многочасовые обходы и субъективные визуальные оценки, переводя контроль в плоскость объективных цифровых данных.

Не менее значимо применение БПЛА [7] в области инженерных изысканий и топогеодезических работ. Традиционные методы топографической съемки с использованием тахеометров и GPS-оборудования требуют значительных временных и трудовых затрат, особенно на крупных или труднодоступных территориях. Дрон, выполняющий аэрофотосъемку с перекрытием снимков, позволяет за один полет собрать массив данных, который после обработки в специализированном программном обеспечении (например, с применением фотограмметрических методов) превращается в детальную цифровую модель местности или ортофотоплан. Такие модели обладают высокой точностью и содержат исчерпывающую информацию о рельефе, существующих объектах и инфраструктуре, что является надежной основой для проектирования.

Помимо этого, дроны находят применение в сфере контроля качества и приемки скрытых работ. Оснащенные тепловизорами, они способны выявлять дефекты, невидимые для человеческого глаза: например, области недостаточной теплоизоляции ограждающих конструкций, утечки тепла через оконные проемы или неравномерность прогрева систем теплого пола. Мультиспектральные камеры могут использоваться для оценки состояния материалов. Также перспективным направлением является использование дронов для доставки малогабаритных, но критически важных грузов – инструментов, образцов, документов или элементов электроники – между объектами или в труднодоступные зоны строящегося объекта, такие как верхние этажи высотных зданий, что позволяет оптимизировать логистику и сократить простои рабочих.

Эффективность применения дронов определяется не только их аппаратной частью, но и сложным программно-аналитическим комплексом, который обеспечивает сбор, обработку и интерпретацию данных. Ключевым элементом является интеграция данных, полученных с БПЛА, с технологиями информационного моделирования зданий. Полученные облака точек, 3D-модели и ортофотопланы [8] не являются статичными отчетами; они загружаются в общую BIM-модель проекта для проведения процедуры контроля соответствия. Программные алгоритмы автоматически сравнивают фактическое состояние объекта, зафиксированное дроном, с проектной моделью. Это позволяет с высочайшей точностью идентифицировать любые расхождения, будь то отклонение в размещении колонны или монтаже инженерных систем.

Процесс планирования полетов также автоматизирован. Специалист задает область обследования, необходимые параметры съемки, и

специальное ПО генерирует оптимальный маршрут полета, который дрон выполняет в автономном режиме. Это исключает человеческий фактор и обеспечивает стандартизацию и повторяемость результатов при каждом облете [9]. Для обработки больших массивов данных используются облачные вычисления, что позволяет быстро выполнять ресурсоемкие задачи, такие как построение 3D-моделей по тысячам фотографий. Более того, с применением алгоритмов машинного обучения системы учатся автоматически распознавать на изображениях определенные объекты, дефекты или потенциально опасные ситуации, например, отсутствие у рабочих средств индивидуальной защиты или несанкционированное нахождение техники в опасной зоне.

Переход к автоматизированному мониторингу и контролю с помощью дронов приносит значимые экономические и эксплуатационные выгоды. На первом месте стоит резкое повышение производительности труда. Операции, на которые ранее уходили дни, теперь выполняются за часы. Это напрямую сокращает сроки проекта и снижает трудозатраты. Вторым критически важным преимуществом является повышение безопасности. Дроны берут на себя работу в опасных зонах – на высоте, в котлованах с риском обрушения, на объектах с нестабильными конструкциями после частичной разборки, минимизируя необходимость нахождения там людей.

Третье преимущество – это беспрецедентная детализация и объективность данных. Формируется полный и неизменяемый цифровой архив хода строительства, который может использоваться для разрешения спорных ситуаций, анализа причин возникновения дефектов и формирования отчетности для заказчика. Однако масштабному внедрению технологии препятствует ряд барьеров. Высокая первоначальная стоимость включает не только приобретение самих дронов профессионального класса, но и лицензии на специализированное ПО, а также затраты на обучение персонала [10]. Правовое поле, регулирующее полеты БПЛА, особенно над густонаселенными территориями и вблизи критической инфраструктуры, продолжает формироваться и может ограничивать применение. Кроме того, сохраняется зависимость от внешних условий: сильный ветер, дождь или снегопад делают полеты невозможными или существенно снижают качество данных. Наконец, остро стоит вопрос кибербезопасности каналов передачи данных и защиты коммерческой информации, собираемой дронами, от несанкционированного доступа.

Таким образом, хотя технология БПЛА уже доказала свою эффективность в строительстве, ее потенциал будет полностью раскрыт только при комплексном подходе, включающем не только закупку

оборудования, но и адаптацию бизнес-процессов, развитие нормативной базы и инвестиции в цифровую инфраструктуру предприятия.

Внедрение дронов в строительную отрасль открывает новые горизонты для автоматизации и повышения эффективности процессов. Современные технологии позволяют быстро и точно проводить мониторинг строительных площадок, создавать детальные цифровые модели объектов и своевременно выявлять отклонения от проектных требований. Интеграция данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов, в автоматизированные системы управления проектами и BIM-технологии значительно повышает уровень контроля, сокращает временные и материальные затраты, а также повышает безопасность работников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология реконструкции и модернизации зданий: учеб. пособие / Г.В. Девятаева. - Москва: ИНФРА-М, 2022. 250 с.
2. Строительные дроны [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.avvir.io/blog-posts/construction-drones>.
3. Беспилотные строительные аппараты [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.jouav.com/industry/drone-in-construction>.
4. Дроны в строительстве [Электронный ресурс]. - URL: <https://uavcoach.com/drones-in-construction>.
5. Дроны меняют отрасль в строительстве [Электронный ресурс]. - URL: <https://skill-lync.com/blogs/technical-blogs/civil-how-drones-in-construction-is-changing-the-industry>.
6. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дронтехнологии в строительстве - современные решения и возможности // Вестник евразийской науки. 2020. №5.
7. Погорелов В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // ИВД. 2016. №1 (40).
8. Ковалева, Е. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в процессе полевых и мониторинговых исследований при землеустроительном проектировании на примере Белгородского района / Е. В. Ковалева, А. А. Мелентьев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. - 2020. - № 4(183). - С. 37-43.
9. Bracing for 2020: Past, Present, and Future of Drones in Construction, 2020 [Электронные данные]. - Режим доступа: www.propelleraero.com.
10. Технология и механизация процессов городского строительства и хозяйств: учеб. пособие / В.М. Лебедев. - М.: ИНФРА-М, 2019. - С. 38.

АНАЛИЗ СОВМЕСТИМОСТИ ТИМ-ПЛАТФОРМ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Переход от классических САПР к технологиям информационного моделирования (ТИМ/ВІМ) кардинально меняет подходы к проектированию. Акцент смещается с выпуска чертежей на управление интегральной информационной моделью, объединяющей геометрию, данные и процессы. Нормативное закрепление ТИМ для госзаказа обнажило ключевую проблему: необходимость совместной работы нескольких специализированных платформ в рамках одного проекта. Ни один программный комплекс не способен в равной степени эффективно охватить все разделы проектирования, строительства и эксплуатации.

Цель работы – анализ уровней совместимости и выработка рекомендаций по созданию единого информационного пространства.

Переход от классических методов проектирования к информационному моделированию требует серьезной подготовки. Одним из наиболее острых вопросов в указанном аспекте отмечается выбор соответствующего программного обеспечения не только для осуществления узкоспециализированных проектных задач, но и для координации проекта в целом [1].

На сегодняшний день по различным данным количество зарегистрированных вендоров исчисляется сотнями. Однако, далеко не все из них распространены в практической деятельности. Анализ востребованности вендоров программного обеспечения проведен на основе анализа данных аналитических агентств за период с 2017-2022 гг. на основе источников [2-3].

В 2024 г. АО «СиСофт Девелопмент» провело исследование, в котором приняли участие представители отрасли строительства, тяжелой промышленности и сферы образования. Почти половина респондентов (46,4%) представляли компании с численностью сотрудников более 100 человек.

Темой для исследования стало применение российских технологий информационного моделирования (ТИМ) как составляющей рынка отечественного программного обеспечения (ПО) 2024 г.

На вопрос о достаточности и доступности российского ПО для ТИМ более половины всех респондентов (55,4 %) сообщили, что на рынке недостаточно нужных решений. При этом нельзя не отметить набирающие популярность отечественные программные решения, такие как nanoCAD, Renga Software и другие, которые подходят под критерии концепции информационного моделирования.

Современное комплексное проектирование опирается на экосистему из четырех ключевых групп платформ:

- архитектурно-строительные – служат для формирования модели.
- инженерные (специализированные решения для ОВБК, ЭС, СС) – служат для выполнения расчетов и трассировки инженерных систем объекта.
- организационно-технологические – служат для разработки решений ПОС/ППР; моделируют стройгенплан и логистику строительства.
- координационные – служат для проверки коллизий и визуализации; объединяют модели всех дисциплин.

При этом совместимость между группами платформ должна быть обеспечена на техническом, функциональном и организационном уровнях на всех стадиях комплексного проектирования.

На этой стадии разработки проектной документации (стадии «П») формируется интегральная модель в архитектурно-строительной платформе. Критически важна корректная увязка с инженерными разделами. Основным инструментом обмена данными в данном случае является открытый формат IFC. Однако он часто работает как «односторонний» канал: при импорте в инженерное ПО теряется параметричность и часть атрибутов. В связи с чем, требуется четкое определение ведущей платформы и регламентация состава передаваемых данных.

На стадии разработки рабочей документации (стадии «РД») резко возрастает детализация. Совместимость усложняется из-за расхождений между проектной и производственной детализацией. Часто используется схема, при которой проектная модель передается в специализированную систему для детализовки, но обратный перенос данных затруднен. Требуется регламент, определяющий уровни детализации (LOD) и правила синхронизации.

На стадии разработки технологической и организационной части проекта модель используется для создания стройгенплана, 4D-планирования и передачи данных эксплуатанту. Совместимость

обеспечивается в основном через IFC и среду общих данных (CDE). Однако на стадии эксплуатации возникает проблема «одноразовой» модели: данные о фактическом исполнении и ремонтах сложно вернуть в авторскую модель, что нарушает идею сквозного жизненного цикла.

Таким образом, для построения эффективной ТИМ-среды предлагается следующий комплекс мер:

1. Определение основной платформы, в которой разрабатывается базовая модель, а остальные интегрируются с ней через регламентированные интерфейсы.

2. Приоритет открытых стандартов предполагает активное использование IFC для межвендорного обмена и BCF для коммуникации по замечаниям.

3. Внедрение Среды Общих Данных (CDE) и ее использование CDE как единого централизованного хаба для хранения, управления версиями и координации всех моделей и документов проекта.

4. Разработка внутренних стандартов и строгое соблюдение корпоративных правил моделирования: структура файлов, именование, классификаторы (в т.ч. на основе отечественных ГОСТ Р и СП), уровни детализации.

5. Пилотирование и обучение, что предполагает отработку выбранных комбинаций платформ и регламентов на пилотных проектах с последующим масштабированием успешного опыта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорожкина, Е. А. Аналитический обзор применения программного обеспечения информационного моделирования для разработки проектной документации / Е. А. Дорожкина // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 171-174.

2. Единая информационная система жилищного строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://наш.дом.рф/аналитика> (дата обращения: 10.02.2023).

3. Building Information Modeling. Информационное моделирование зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/BIM> (дата обращения: 10.02.2023).

4. Тимошенко, Т. А. Обзор российских систем автоматизации проектных работ (САПР), использующих разработки технологий информационной моделирования (ТИМ), заменяющих зарубежные аналоги / Т. А. Тимошенко, К. М. Клинг // Университетская наука. – 2022. – № 1(13). – С. 88-90.

Зубов С.В., магистрант

**Научный руководитель: д-р экон. наук, канд. техн. наук, проф.
Руденко А.А.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Современный этап развития строительной отрасли можно охарактеризовать двумя взаимосвязанными трендами: совершенствование цифровых технологий проектирования и актуализацией нормативных требований к проектной и исполнительной документации. Выход на рынок нового технологического решения влечет за собой разработку нормативной документации, регламентирующей и унифицирующей применение данного продукта. В свою очередь появление новых нормативов стимулирует внедрение инновационных инструментов, способных обеспечить соответствие возросшим требованиям.

В XX в. и начале 2000-х гг. широко применялась технология 2D-моделирования, которая характеризуется двумерными чертежами – фасады, планы, разрезы зданий. Данный метод является самым трудоемким как при разработке, так и при проверке и согласовании проектной документации, влечет за собой ручную корректировку чертежей при изменениях в ходе строительства, а также при его использовании существует высокая вероятность возникновения пространственных коллизий из-за разрозненности документации.

В 2000-е гг. начала развиваться технология 3D-моделирования зданий, также известная как BIM- и ТИМ-моделирование. Результатом применения данной технологии является объемная модель здания, на основе которой можно автоматически генерировать необходимые чертежи. Благодаря появлению ТИМ-моделирования появилась возможность автоматически выявлять пространственные коллизии элементов модели, назначать к ним атрибутивную информацию и автоматически рассчитывать объемы материалов и технико-экономических показателей. 3D-модель стала «цифровым двойником» будущего объекта строительства, но оставалась пространственно-статичной – она не отражала динамику строительства.

В 2010-е гг. начала активно развиваться технология 4D-моделирования – это логическое продолжение эволюции технологий является интеграция пространственной модели здания с календарно-

сетевым графиком его возведения, что позволяет визуализировать процесс строительства посредством создания динамической анимации, где каждый элемент появляется в строго определенный момент времени, выявлять пространственно-временные коллизии, оптимизировать логистику путем анализа маршрутов перемещения техники и рабочих синхронизировать данные 3D-модели и календарно-сетевого графика строительства путем назначения элементов здания на одну или несколько работ.

Для создания 4D-модели на начальном этапе необходимо определить цели моделирования, ими могут быть: контроль графика производства работ, поиск коллизий, планирование поставок и др. Затем нужно произвести сбор исходных данных для 3D-модели и календарно-сетевого графика строительства, выбрать подходящее программное обеспечение и назначить ответственных лиц на каждый из этапов.

По завершению подготовительного этапа наступают этапы разработки 3D-модели и календарно-сетевого графика строительства. На данном этапе необходимо создать детализированную модель здания, элементы которой необходимо сгруппировать по стадиям монтажа, а также присвоить им коды элементов согласно классификатору. При разработке календарно-сетевого графика необходимо учитывать структуру 3D-модели – детализировать работы до необходимого уровня таким образом, чтобы была возможность назначить каждый из элементов модели на одну или несколько соответствующих ему работ.

Следующим этапом создания 4D-модели является синхронизация заключающаяся в связывании элементов модели с работами графика, проверкой корректности связи. Данный процесс можно автоматизировать через систему кодирования элементов 3D-модели и работ календарно-сетевого графика.

После проведения вышеописанных мероприятий появляется возможность визуализации процесса строительства здания путем создания анимационного ролика строительства, на котором могут дополнительно отображаться комментарии к различным этапам строительно-монтажных работ. В данном представлении есть возможность настройки цветовых профилей для различных операций, чтобы элемент не только появлялся в определенный момент времени, но и окрашивался в определенный цвет, соответствующий типу работ, например, армирование, монтаж опалубки, бетонирование и др. для монолитных железобетонных элементов. Также благодаря технологии рабочих по строительной площадке.

На основе полученной анимации строительства у проектировщиков появляется возможность выявления пространственно-временных коллизий – наложения элементов друг на друга в пространстве или появление элемента до того, как это предоставляется физически возможным. Благодаря наглядному представлению проще выявлять несоответствия и вносить корректировки в календарно-сетевой график [2], оптимизировать последовательность работ и перераспределять ресурсы.

При использовании технологии 4D-моделирования появляется возможность интеграции 4D-модели в систему управления проектом – инструментарий позволяет регулярно обновлять данные о ходе работ путем внесения фактических данных о завершении работ и сверкой их с проектными, что позволяет проводить контроль отклонений от графика [3]. Есть возможность формирования отчетов для участников проекта.

Завершающим этапом использования технологии 4D-моделирования является архивирование итоговой модели, анализ эффективности ее применения, подготовка рекомендаций и обновление нормативной базы для будущих проектов компании.

При использовании технологии 4D-моделирования при строительстве жилых зданий необходимо придерживаться основным принципам создания 4D-модели. Первым из них является принцип целостности и интеграции, который заключается в создании единой информационной среды путем объединения данных 3D-модели и календарно-сетевого графика строительства объекта, в которой все элементы здания связаны с конкретными работами графика. Степень детализации объемной модели должна обеспечивать необходимую очередность работ, каждому элементу модели должна соответствовать группа работ в графике.

Благодаря принципу кодирования элементов можно значительно сократить трудозатраты на связывание элементов 3D-модели с работами календарно-сетевого графика строительства объекта. Элементы объемной модели наделяются кодами согласно принятому для проекта классификатору, работы графика маркируются аналогичными кодами, что позволяет автоматически связать элементы 4D-модели с одинаковыми кодами.

Принцип динамичности заключается в возможности внесения корректировок в календарно-сетевой график строительства объекта при изменениях, возникших в ходе проведения строительства [4], внесения фактических данных о выполнении работ, актуализации визуальной составляющей 4D-модели для контроля отклонений.

Принцип визуализации коллизий позволяет выявлять и устранять пространственно-временные конфликты – пересечение элементов в

пространстве, неверную последовательность работ, временные коллизии, означающие наложение работ в одно и то же время.

Принцип многофункциональности заключается в использовании контроля соблюдения графика производства работ, визуализации опасных зон и оптимизации использования техники и других ресурсов.

Одним из главных принципов при использовании технологии 4D-моделирования является принцип доступности информации. Результаты применения данной технологии, а именно анимация процесса строительства и отчетная документация, должны быть понятны всем участникам строительного проекта – инвесторам и заказчикам, генподрядчикам и субподрядчикам, надзорным органам и эксплуатирующим службам.

В ходе исследования методики применения 4D-моделирования в строительстве жилых зданий были последовательно рассмотрены ключевые факторы ее внедрения – эволюция проектных технологий от основные принципы и этапы создания 4D-модели.

Эволюция технологий проектирования демонстрирует закономерный переход от статичных двумерных чертежей к динамическим цифровым моделям. Развитие от 2D к 3D и далее к 4D отражает потребность отрасли в более точных, наглядных и управляемых инструментах, позволяющих охватывать все больше параметров. Перспективы дальнейшего развития технологий проектирования связаны с добавлением стоимостных параметров, данных о дальнейшей эксплуатации и экологической устойчивости объекта строительства.

Практическое применение технологии 4D-моделирования заключается в существенном повышении эффективности этапов реализации строительного проекта [5] – сокращается риск дорогостоящих переделок за счет раннего выявления пространственно-временных коллизий, улучшается точность составления календарно-сетевого графика строительства объекта, оптимизируется использование техники и других ресурсов, упрощается коммуникация между проектировщиками, строителями и заказчиками, а также повышается контроль над соблюдением сроков строительства.

К ограничениям внедрения технологии 4D-моделирования можно отнести высокие требования к исходным данным, затраты на программное обеспечение и обучение сотрудников и необходимость интеграции в существующие процессы. Данные ограничения не снижают перспективность использования технологии, а только лишь указывают на направление ее дальнейшего развития – разработку

отраслевых стандартов для 4D-моделей и интеграцию с системами управления строительными проектами.

Таким образом, технология 4D-моделирования представляет собой принципиально новый уровень развития управления строительными проектами, сочетающий в себе точность цифрового проектирования с реалистичностью временного планирования. Внедрение данной технологии – это важный шаг к повышению конкурентоспособности компании на рынке в условиях цифровизации строительной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авраменко В.А., Есипов С.М. Планирование строительства с помощью программного обеспечения 4D-моделирования // Наука и инновации в строительстве. 2021. № 1. С. 153-159.
2. Биче-Оол Х.В. Практическое применение 4D-моделирования в строительных организациях республики Тыва // Вестник Тувинского государственного университета. 2022. № 3. С. 14-20.
3. Евсеев И.А. 4 D моделирование для объектов инфраструктуры // Символ науки. 2020. С. 228-230.
4. Сивкова А.Э., Придвижкин С.В., Волков А.С. BIM и технологии 4.0 в строительстве // Перспективы науки. 2020. С. 102-106.
5. Тарасов М.В., Глабец П.А. Особенности применения 4D-моделирования в строительстве // VII Международный студенческий строительный форум. 2022. С. 145-147.

Кравченко Н.Ю., студент

**Научный руководитель: канд. техн. наук, ст. преп.
Амелин П.А.**

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В России уже на протяжении 20 лет огромное влияние на все сферы деятельности оказывают информационные технологии, в том числе и на строительство. С 1 июля 2024 г., на данном этапе развития, обязательным требованием к возводимым объектам, в которых есть доля государственного финансирования, является информационная модель здания, которая в дальнейшем должна сопровождать его

жизненный цикл (рис. 1) [1]. Это требование должно положительно повлиять на ускорение процесса цифровизации в строительной отрасли.



Рис. 1. Показатели применения ТИМ-моделирования в РФ на 2024 г.

На второе полугодие 2024 г., каждая пятая строительная компания использует ТИМ при проектировании около 70 %, при строительстве к ним обращаются лишь 20 %, а при жизненном цикле – 3 %. [2]

Важно отметить, что именно от успешного перехода на цифровизацию во многом будут зависеть конкурентоспособность на рынке труда специалистов и организации, так как это является эффективным ресурсосбережением и помогает представить технологический процесс строительства прозрачным.

Главными направляющими факторами развития строительства в стране являются: безопасность, экологичность, экономичность, ресурсосберегаемость производства, а также «мировая гонка» (рис. 2).



Рис. 2. Направляющие факторы развития цифровизации в строительной отрасли

Все это неизбежно ведет к информатизации строительства. В рамках настоящего исследования, принимая во внимание установленный факт значимости ТИМ-модели как неотъемлемого

элемента современной строительной индустрии, проводится анализ программного обеспечения, включая специализированные плагины и скрипты. Указанные инструменты способствуют повышению эффективности процесса формирования проектной документации, а также обеспечивают оптимизацию последующих этапов разработки рабочей документации объекта капитального строительства.

Важно отметить, что с некоторыми задачами уже сама информационная модель отлично справляется: она в полном объеме позволяет выводить все разделы чертежей, и при дальнейших корректировках автоматически вносит изменения, что позволяет избежать ошибок.

При разработке проектно-технологической документации, возникает возможность снижения строительных отходов благодаря привязке 3D-модели к календарному графику, а также использования 4D-моделирования. Это помогает рационально использовать строительные материалы, а также грамотно составлять поставку данной продукции, что значительно оказывает положительное влияние на экономику проекта.

Так же информационные технологии обеспечивают мгновенную связь с заказчиком, что благополучно сказывается на согласовании изменений в ходе расчетов. Но это актуально также для взаимосвязи разных отделов, что позволяет снизить сроки разработки документации, а также позволяет выпускать проектную документацию более высокого качества и разрабатывать материал и спецификации с минимальным количеством ошибок [3].

Но несмотря на частичную цифровизацию, человеческий фактор оказывает немалое влияние на совершение ошибки при составлении сметного расчета. Хотя 3D-технологии помогают избежать большого ряда ошибок, они не исключают их. Для решения этой проблемы и уменьшения затрат человеческого труда предлагается использовать 4D-моделирование, которые помогают устранить все эти недостатки.

На данный момент проектно-сметная документация, создаваемая традиционными способами, во многом проигрывает цифровому формату расчета. Очень большое внимание сейчас на рынке отводится для цифровизации сметного расчета, в том числе и отечественного аппаратно-программного обеспечения, что позволяет рационально распределять экономические ресурсы, а также мониторить и редактировать по ходу проектирования стоимостный инжиниринг [4]. Сущность проблемы сводится к тому, что при выделении финансовых ресурсов для разработки ПО, в строительных компаниях цифровизированный способ имеет малое применение.

Представлены ниже программы осуществляют расчет стоимости строительства по общему принципу – единичные сметные нормы умножаются на объемы работ и корректируются системой индексов дробления и факторов производства [5]. Также каждая из них зарегистрирована в Едином реестре Российских программ.

«ГРАНД-Смета» – отечественная программа, которая использует ресурсно-индексный метод расчета (рис. 3). При помощи специальной функции есть возможность проверки данных по ресурсам в смете на соответствие актуальной сплит-форме. Также автоматизирована загрузка в локальную смету текущих цены и индексов. Программа поддерживает ФЕР, ГЭСН, ТЕР, ТСЦ, ТСН. Выделены следующие положительные стороны программы:

- создание смет различными способами расчета;
- учет затрат по статьям;
- формирование итоговых показателей;
- работа с дополнительными коэффициентами и поправками;
- возможность внесения собственных расценок и материалов;
- интеграция с Microsoft Excel.

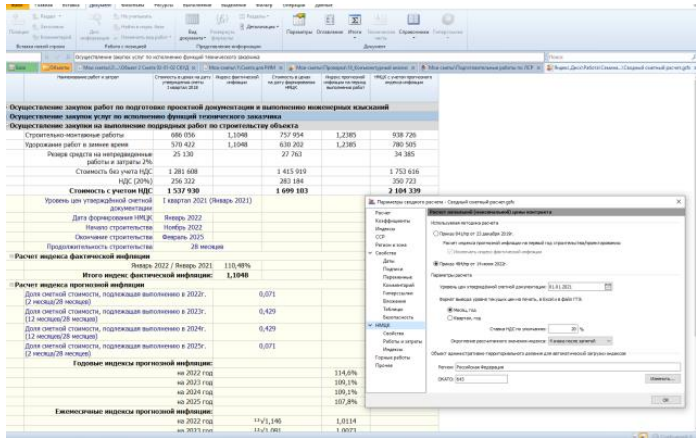


Рис. 3. Интерфейс программы ГРАНД-смета

Этими функциями также обладают и программы, рассмотренные ниже. Но при этом ГРАНД-смета имеет ряд существенных недостатков:

- дорогое обслуживание;
- нет модуля для работы с 3д моделью (планируют добавить).

Адепт: Смета – профессиональная программа для составления смет на СМР с возможностью расчета смет на основе ТИМ-модели (рис.

4). Включает в себя все способы расчета на основе актуальных ГЭСН, ФЕР, ТЕР, ведомственных сборников, фирменных расценок и является гарантией быстрых и верных расчетов. В данном ПО реализовано:

- создание смет по официальным нормативам;
- автоматическое начисление накладных расходов сметной прибыли;
- работа с материалами внутри расценки;
- модуль подсчета объемов;
- хранение документации и создание договоров;
- сравнение смет;
- возможность индивидуального допрограммирования.

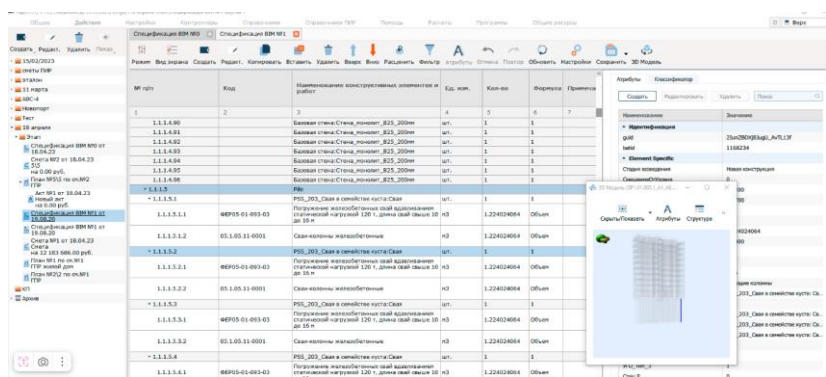


Рис. 4. Интерфейс программы Адепт:Смета

Из недостатков можно выделить:

- высокая стоимость;
- по некоторым отзывам, программа неудобная и медленная.

Локальные сметы можно распределить в жилую и нежилую часть и учесть дополнительные затраты. Так же имеется возможность распределения суммы по подрядчикам.

VIM-смета ABC – сметный программный комплекс при помощи плагина позволяет проводить интеграцию с известными VIM-платформами (рис. 5). Плагин каждой VIM-системы адаптирован под ее интерфейс и особенности. Система позволяет сметчику подключиться к проекту на этапе создания 3D-VIM-модели и связывать элементы модели со сметной системой, что автоматизирует получение сметной и ресурсной документации.

- назначение сметного свойства;
- автоматизированное дублирование сметного свойства;
- подсчет объемов;

- сбор недостающих элементов;
- интерфейс стал более современным и интуитивно более понятным;
- интеграция многих программ 3D-моделирования;
- интеллектуальный справочник;
- невысокая стоимость программы;
- поддержка нормативных баз СНГ и РФ с регулярным обновлением;
- многопользовательская сеть;
- конъюнктурный анализ;
- назначение стоимостных свойств в модели при помощи плагина.

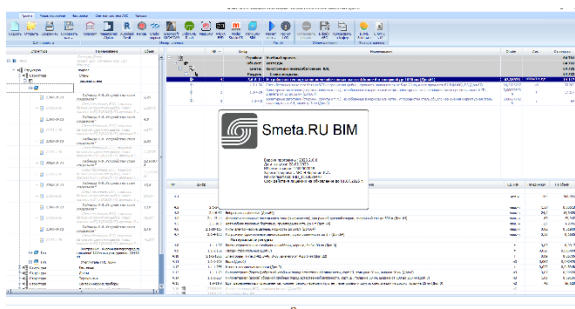


Рис. 5. Интерфейс программы BIM-смета ABC

На основе обзорного анализа, можно сделать вывод, что программа BIM-смета ABC занимает лидирующие позиции на рынке на данном этапе развития. Обусловлено это рядом преимуществ: интеграция многих 3-D программ, конъюнктурный анализ, поддержка нормативных баз СНГ и РФ с регулярным обновлением и др. В дальнейшем исследовании планируется рассмотреть качественный и количественный показатель при переходе к сметным расчетам при помощи программного комплекса BIM-смета ABC. Важно отметить, что у всех ПО постоянно с разной скоростью выходят обновления, что позволяет конкурировать друг с другом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020г. N 1431: постановление Правительства РФ от 27 мая 2022 г. N 962 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/75475.html/> (дата обращения 02.10.2025).

2. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 2. С. 20–28.

3. Лазарева Н.В., Зиновьев А.Ю. О принципах информатизации строительно-технических экспертиз // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 7. С. 41-45.

4. Скорынина А. А. Виртуальный ресурсный анализ в строительном ценообразовании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова . 2025. № 8. С. 35-36.

5. Жаров Я.В. Организационно-технологическое проектирование в строительстве на основе интеллектуального блока планирования // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 193-199.

**Кувшинова А.С., студент,
Демьянова А.И., студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Пирева С. Ю.**

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

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (BIM, ERP) В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ

Современное развитие строительной отрасли Российской Федерации характеризуется активным внедрением цифровых технологий, направленных на повышение эффективности управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Одним из ключевых направлений цифровой трансформации является использование систем информационного моделирования зданий (BIM, Building Information Modeling) и корпоративных систем планирования ресурсов предприятия (ERP, Enterprise Resource Planning). Данные технологии обеспечивают комплексное управление процессами проектирования, строительства, эксплуатации и утилизации объектов.

Необходимость цифровизации строительной сферы обусловлена повышением требований к качеству, срокам и экономической эффективности реализации проектов. Традиционные методы

проектного управления не позволяют достичь должной прозрачности и согласованности между участниками строительного процесса.

Технология BIM представляет собой методику создания и использования цифровой информационной модели объекта, содержащей данные обо всех его элементах и процессах жизненного цикла. Согласно требованиям СП 333.1325800.2017, информационная модель должна обеспечивать возможность взаимодействия между проектными и эксплуатационными системами, что создает основу для интеграции с ERP-платформами. Последние, в свою очередь, предназначены для автоматизации управленческих, экономических и логистических процессов на уровне предприятия.

В научной литературе отмечается, что сочетание BIM и ERP позволяет объединить инженерно-технические и экономико-управленческие аспекты строительной деятельности. Интеграция данных систем способствует формированию единого цифрового пространства, обеспечивающего сквозное управление информацией от стадии проектирования до эксплуатации объекта. Однако данный процесс осложняется отсутствием единых стандартов обмена данными, несовместимостью программных платформ и недостаточной подготовленностью специалистов.

Внедрение BIM-технологий в России активно развивается, однако их применение на практике зачастую ограничивается стадией проектирования. Интеграция BIM с ERP-системами, обеспечивающая комплексное управление ресурсами и финансовыми потоками, находится на начальном этапе развития. Основными трудностями остаются разобщенность информационных систем и отсутствие единых стандартов данных.

Интеграция BIM и ERP должна рассматриваться не как внедрение отдельных программных продуктов, а как стратегический процесс формирования сквозной цифровой инфраструктуры. Для этого требуется адаптация существующих стандартов, развитие национальных классификаторов строительной информации и подготовка специалистов нового типа – инженеров-цифровиков.

Следует отметить, что цифровизация строительства не ограничивается только BIM и ERP. В перспективе данные технологии будут интегрироваться с системами управления жизненным циклом (PLM), технологиями Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (AI). Это позволит формировать цифровые двойники зданий и инфраструктурных объектов, обеспечивая их эффективную эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла.

Внедрение цифровых технологий BIM и ERP в строительной отрасли России является ключевым направлением повышения эффективности и конкурентоспособности отрасли. Интеграция данных систем позволяет создавать единое информационное пространство, обеспечивающее прозрачность, управляемость и экономическую устойчивость строительных проектов.

Основными проблемами цифровизации остаются несовершенство нормативно-правовой базы, недостаточная стандартизация процессов и дефицит квалифицированных кадров. В то же время наблюдается положительная динамика в развитии цифровых инструментов, формировании методических рекомендаций и создании национальных платформ.

В перспективе ключевым направлением развития станет формирование цифровых экосистем, объединяющих BIM, ERP, IoT и AI-технологии для комплексного управления жизненным циклом объектов строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 21.1101–2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. – М.: Стандартиформ, 2020.
2. Авилова И.П. Совершенствование критериев и методов оценки экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов :диссертация кандидата экономических наук : 08.00.05 / Авилова Ирина Павловна. – Белгород, 2007. – 199 с.
3. Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года. – Утв. Минстроем РФ, 2022.
4. Иванов С.А., Петров Н.В. BIM-технологии в управлении жизненным циклом зданий. // Строительство и реконструкция. – 2022. – №4. – С. 45–52.
5. Кузнецов И.Г. Цифровизация строительной отрасли России: состояние и перспективы. // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – №3. – С. 12–20.
6. Романов В.В., Егорова Т.А. Проблемы внедрения BIM-технологий в России. // Наука и инновации в строительстве. – 2022. – №2. – С. 33–40.

Медведева А.А., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Розанцева Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

На текущий момент строительная отрасль переживает этап цифровой трансформации, который связан с внедрением и распространением цифровых технологий во все сферы отрасли. В условиях увеличивающегося масштаба объемов строительства, сложности и уникальности объектов капитального строительства, цифровизация становится не только необходимым условием для эффективного функционирования строительных организаций, но и требованием со стороны государства. Именно поэтому цифровые технологии и современные программные решения приобретают ключевое значение в строительной практике.

Информационные технологии позволяют объединять данные на стадии проектно-изыскательских, строительно-монтажных работ, работ по вводу объекта в эксплуатацию в единую цифровую среду, формируя основу для комплексного управления проектом. Однако вместе с тем, стоит отметить, что применение таких технологий невозможно без наличия нормативно-правовой базы, которая задает единые правила, требования и стандарты к процессу цифрового проектирования и строительства.

В мировой практике стандартизация стала основным инструментом диктующим «правила игры» и обеспечивающим широкое и эффективное распространение BIM [1]. В Российской Федерации вопросы нормативного регулирования также находятся в центре внимания государственных органов и профессионального сообщества. Постепенное формирование национальной базы стандартов, которая включает различные ГОСТы и своды правил, а также разработка отраслевых методических рекомендаций, отражает тенденцию перехода строительной отрасли к цифровому формату. Однако стоит отметить, что пока нормативное регулирование больше носит фрагментарный характер, что осложняет всестороннее внедрение информационных технологий, особенно когда речь идет о региональном уровне и небольших компаниях.

Возвращаясь к рассмотрению стандартизации в мировой практике, стоит отметить, что внедрение технологий информационного моделирования в строительную отрасль невозможно без создания и применения единых международных стандартов, которые регулируют процесс управления данными, взаимодействие участников и качество создаваемых моделей.

Отсутствие унифицированного подхода приводит к проблемам несовместимости программных решений, особенно когда речь идет о международных проектах, объединяющих специалистов из разных стран и народов. В таких случаях особенно важно не допустить несогласованности в документации и снижении эффективности проекта. Именно поэтому международные стандарты стали основным инструментом формирования целостной системы цифрового управления строительными проектами [2].

Одним из ключевых документов в области регулирования BIM-отношений является серия стандартов ISO 19650 «Организация и оцифровка информации о зданиях и объектах гражданского строительства, включая информационное моделирование зданий (BIM)» (рис. 1), разработанная на основе британского национального стандарта BS 1192 и общеизвестной спецификации PAS 1192-2. Данные стандарты носят управленческий характер и схожи с всем известными стандартами ИСО 9001 (управление качеством), ИСО 21500 (управление проектами, программами и портфелями). В стандартах данной серии описываются новые подходы к информационному управлению в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (BIM). На текущий момент в рамках данной серии стандартов функционирует:

1. ISO 19650-1 «Концепции и принципы». В первой части стандарта отражены основные принципы управления данными в ходе реализации проекта, основное внимание отводится рассмотрению двух этапов: создание актива и использование активов. Данная часть стала основополагающей методологической основой для управленческого аппарата, в которой содержатся ключевые определения и понятия.

2. ISO 19650-2 «Этап создания активов». Вторая часть стандарта составлена в виде спецификации и подразумевает собой методику управления активом в процессе его создания, в рамках строительной отрасли под активом подразумевается объект капитального строительства. Стандарт определяет функции, обязанности и ответственность между участниками инвестиционно-строительного проекта, диктует требования к процессам управления, обмену, передаче и хранению информации.



Рис. 1. Стандарты серии ISO 19650

Все требования стандарта по обмену, передаче, хранению данных и ответственности сторон отражаются в документе, который называется EIR – (Employer’s Information Requirements), который формирует Заказчик. В данном документе описываются все требования к передаваемой информации. Кроме EIR формируется матрица ответственности, структурная декомпозиция работ и организации для укрупненного понимания работ и ответственных за реализацию [3].

На основании EIR и матрицы ответственности формируется BEP – (BIM Execution Plan) или план выполнения BIM-проекта, в ответ на требования к информационной модели Заказчика (EIR). В BEP прописываются обязанности и роли BIM-менеджеров, описываются программные продукты, в которых будет производиться информация. Правила ведения документооборота и обмена информацией в общей среде данных (СОД). Описывается процедура проверки документации на нормоконтроль и устранение недостатков. Иначе говоря, EIR задает требования со стороны Заказчика, а BEP показывает, как исполнитель будет выполнять данные требования.

3. ISO 19650-3 «Этап использования активов». Третья часть более подробно раскрывает требования к управлению информацией и ее применению на стадии использования активов.

В рамках строительства наиболее важным является ISO 19650-2, поскольку в нем рассматриваются основные стадии информационного менеджмента. Данные стадии можно объединить в 3 группы:

- Подготовка проекта. В рамках данного процесса происходит запуск проекта, оценка потребностей клиента, подготовка и проведение тендера.
- Планирование передачи информации. Проведение договорной работы, планирование, мобилизация ресурсов.
- Производство информации. Определение среды для обмена информацией (СОД), сдача-приемка информации, закрытие проекта.

4. ISO 19650-4 «Информационный обмен». Четвертая часть ориентирована на определение принципов, которым необходимо придерживаться основным стейкхолдерам проекта в процессе совместного производства и обмена информацией.

5. ISO 19650-5 «Информационный менеджмент, направленный на безопасность». Пятая часть ориентирована на способы обеспечения безопасности информации при помощи внедрения методов управления конфиденциальности. Документ описывает основные риски возникающие в процессе реализации активов и методы их устранения.

Международный опыт показывает, что внедрение технологий информационного моделирования невозможно без разработки единой системы стандартов и регламентов, которые бы обеспечивали требования к формированию, хранению, обмену данными в процессе реализации проектов. Данные документы определили основные принципы работы и легли в основу системы нормативно-правового регулирования в сфере цифрового строительства в Российской Федерации. Зарубежные стандарты были интегрированы в отечественную правовую базу с учетом национальных особенностей законодательства в сфере строительства. Создание национальных стандартов и сводов правил, регламентирующих применение BIM в строительстве позволило перейти от единичных проектов с участием информационного моделирования к системной цифровизации всей отрасли.

В связи с этим, целесообразно рассмотреть текущую структуру нормативно-правовой базы, которая на настоящий момент определяет способ работы в цифровой среде. В настоящее время в области нормативного регулирования в сфере BIM насчитывается порядка 22 документов, среди которых 14 государственных стандартов (ГОСТ Р) и 8 сводов правил (СП). Кроме того, существуют различные постановления правительства, одним из таких является постановление Правительства РФ от 17.05.2024 г. №614, которое утверждает правила формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства [4].

Основой для цифровой трансформации строительной отрасли стали положения национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства от 28.07.2017 г. №1632. В программе были определены цели и задачи, направленные на осуществление мер государственной политики по поддержанию цифровизации экономики страны.

Еще одним документом, который определяет направления государственной политики в области BIM является постановление

Правительства РФ от 05.03.2021 г. № 331 «О применении технологий информационного моделирования на все стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства». Данный нормативный акт установил обязательное применение BIM-технологий при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов, финансируемых за счет федерального бюджета.

Государственные акты задают только основные требования к структуре данных, уровням детализации и обмену данными. В связи с этим, все большее значение приобретает разработка корпоративных стандартов и внутренних сводов правил, адаптирующих правила и принципы международных и национальных стандартов под конкретные процессы отдельных организаций и проектов.

Корпоративные BIM-стандарты – это документы, которые регламентируют использование технологий информационного моделирования внутри компании и на ее проектах. Они позволяют добиться единообразия в представлении информации, структурировать информацию и являются элементом контроля качества проектной документации. При всем при этом, корпоративные стандарты не являются заменой государственным, они являются дополнением и индивидуальным инструментом для конкретной организации.

Помимо разработки корпоративных стандартов важной составляющей является введение различных шаблонов, руководств, чек-листов, инструкций и других документов необходимых в процессе BIM-моделирования [5].

Таким образом, стоит отметить, что международные, отечественные и корпоративные стандарты являются важной составляющей, которая напрямую влияет на эффективность организационно-управленческих отношений и принципов внедрения цифровых технологий в строительную отрасль. Устойчивое развитие и совершенствование BIM-технологий является залогом эффективного проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства в России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мерзлякова А.Д. BIM-технологии в строительстве // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. 2016. С. 461-464.
2. Разов И.О., Березнев А.В., Коркушко О.А. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2018. С. 27-31.

3. Абдуллоев М.Н., Суворова С.П. BIM проектирование в строительстве: проблемы и перспективы применения в России// Сетевой научный журнал орелгау. 2017. № 1. С. 66-74.

4. Аминов Р. Р. НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОХОЖДЕНИЕ ГОСЭКСПЕРТИЗЫ // ИВД. 2021. №2 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/normativnoe-regulirovanie->

5. Петров К. С., Кузьмина В. А., Федорова К. В. Проблемы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (BIM-технологии) // ИВД. 2017. №2

Носова Р.И., магистрант

**Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
Казakov Ю.Н.**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОЭТАЖНЫХ ПАРКОВОК ИЗ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

В условиях стремительной урбанизации и непрерывного роста транспортной инфраструктуры мегаполисов, особо остро встает вопрос дефицита парковочных мест. Наличие парковочных мест в городах напрямую влияет на качество городской среды, экономическую активность и социальное благополучие населения. Постоянные пробки на дорогах, загрязнение воздуха, потеря времени в поисках свободного парковочного места и невозможность эффективного использования городских пространств является следствием неразвитой парковочной инфраструктуры. Традиционные подходы к строительству многоэтажных парковок зачастую оказываются неэффективными в условиях плотной городской застройки, поскольку требуют значительных капитальных вложений и сопровождаются высоким уровнем шума и логистическими трудностями в период строительства.

В процессе поиска устойчивых и экономически целесообразных решений особое внимание, в первую очередь, уделяется

инновационным подходам. Одним из таких, является строительство многоэтажных парковок из сборно-разборных конструкций. Такие системы предлагают целый ряд преимуществ, к которым относится:

1. Высокая скорость возведения за счет заводского изготовления элементов;

2. Возможность демонтажа и повторного использования конструкций;

3. Сокращение объемов строительного мусора и как следствие, минимизация отходов;

4. Снижение стоимости строительства.

Строительство новых парковочных объектов в мегаполисах сталкивается с рядом проблем и ограничений, к данным ограничениям относят:

Дефицит свободного пространства и высокая стоимость земельных участков. В условиях стесненной городской застройки практически отсутствуют свободные земельные участки, которые могут быть использованы под строительство. Если такие участки есть, то как правило, их стоимость оказывается высокой, что невыгодно для строительных компаний [1].

Сложность геологических и градостроительных условий. Городская инфраструктура подразумевает сложную сеть подземных коммуникаций, теплотрассы, линии метрополитена, фундаменты соседних зданий. Все эти факторы значительно усложняют процесс строительства подземных паркингов и делают его более долгим и дорогостоящим.

Необходимость минимизации воздействия на окружающую среду. Строительные работы в черте города всегда сопровождаются шумом от строительной техники, вибрацией от работающих машин и механизмов, пылью и нарушением дорожного движения.

Сложность в логистике. Доставка строительных материалов и крупногабаритной техники на строительную площадку осложняется ввиду ограниченного городского пространства и интенсивного трафика машин.

В этом контексте, многоэтажные паркинги, выполненные из сборно-разборных конструкций, представляют собой одну из наиболее перспективных направлений в строительстве. Сборно-разборные конструкции могут быть выполнены и реализованы с применением различных конструктивных систем, каждая из которых имеет свои преимущества.

1. Стальные конструкции. Данный вид конструкций является наиболее распространенным и широко используемым благодаря своей

легкости, прочности и высокой скорости при монтаже. Металлические колонны, фермы и балки быстро соединяются между собой болтовыми или сварными соединениями (рис. 1). Такие конструкции позволяют создавать большепролетные здания и могут адаптироваться к различным конфигурациям [2].



Рис. 1. Стальные сборно-разборные конструкции

2. Сборные железобетонные конструкции. Данные конструкции выполняются из готовых железобетонных элементов, колонн, балок, плит перекрытий, произведенных на заводе [3]. Монтаж таких конструкций более трудоемкий и требует задействования более тяжелой техники, но в тоже время отличается высокой скоростью по сравнению с монолитным, имеет высокую несущую способность и долговечность (рис. 2).



Рис. 2. Железобетонные сборно-разборные конструкции

3. Модульные системы. Создание готовых модулей, которые включают не только конструктивные элементы, но и инженерные системы с элементами отделки. Данная система имеет самые сжатые сроки при возведении [4].

Реализация каждой из систем требует применения передовых методологий проектирования и управления. На этом фоне возрастает необходимость применения технологий информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling) [5].

Преимущество применения BIM при реализации сборно-разборных парковок проявляется в нескольких направлениях:

- 3D-моделирование модулей и их соединений. BIM позволяет создавать детализированные 3D-модели каждого элемента парковки (начиная с колонн, балок, перекрытий и заканчивая элементами фасада и ограждений). Данная детализация обеспечивает полное представление объекта в трехмерном формате, облегчает понимание сложных узлов и связей между элементами. Для сборно-разборных элементов критически важно понимать в процессе строительства, какой элемент как собирается и с чем связывается;



Рис. 3. 3D-модель сборно-разборной парковки

- автоматизация проверок на коллизии. Одной из ключевых и значимых функций BIM является выявление потенциальных коллизий между конструктивными элементами и инженерными системами еще на стадии проектирования. Это позволяет предотвратить нежелательные изменения в процессе строительства и сэкономить время и ресурсы, как трудовые, так и материальные;

- детализация соединений. Моделирование соединений (болтовых, сварных и закладных деталей) с высокой степенью детализации. Проработка узлов на стадии проектирования впоследствии при демонтаже позволяет обеспечить точный демонтаж без повреждений основных элементов. Возможность создавать библиотеки семейств и узлов для последующего упрощения проектирования;

- интеграция с расчетными комплексами и нормативными требованиями. BIM-модель может быть разработана в различных программных комплексах для проведения структурного анализа, расчета нагрузок, оптимизации размеров и размеров элементов;

- автоматическое получение ведомостей объемов работ и спецификаций материалов. BIM позволяет автоматически выводить

объемы работ, спецификации материалов и компонентов, что значительно упрощает составление бюджета проекта.

– 4D-моделирование монтажа с учетом графиков работ. На основании 3D-модели и календарного графика производства работ есть возможность создания 4D-модели, которая позволит увидеть процесс строительства, а разрезе времени.

Проведенный анализ преимуществ применения информационного моделирования при проектировании и строительстве многоэтажных парковок на основе сборно-разборных конструкций обладает существенным потенциалом [6]. BIM обеспечивает детальное моделирование соединений и узлов, интеграцию расчетных комплексов, автоматизацию проверок на коллизии и ошибки, создание 4D-моделей с привязкой к графику производства работ. BIM создает полноценную цифровую модель создаваемого объекта, которая служит своего рода «паспортом» объекта строительства. Это обеспечивает максимальную прозрачность и контроль, делая сбор-разборные парковки не только быстрым решением, но и интеллектуальной собственностью, которая способна отвечать на меняющиеся требования городской инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамян С. Г., Котляревская А. В., Котляревский А. А., Галда З. Ю., Дикмеджян А. А. Трансформирующиеся и сборно-разборные объемные блок-модули, применяемые в строительстве // ИВД. 2020. №12 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformiruyuschiesya-i-sbornorazbornye-obemnye-blok-moduli-primenyaemye-v-stroitelstve> (дата обращения: 27.10.2025).

2. Абрамян С. Г., Ишмаметов Р. Х., Оганесян О. В., Улановский И., Дикмеджян А. А. Модульные конструкции и энергоэффективная реконструкция современных строительных систем // ИВД. 2019. №6 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modulnye-konstruktsii-i-energoeffektivnaya-rekonstruktsiya-sovremennyh-stroitelnyh-sistem> (дата обращения: 27.10.2025).

3. Захарова М. В., Пономарев А. Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-stroitelstva-zdaniy-i-sooruzheniy-po-modulnoy-tehnologii> (дата обращения: 27.10.2025).

4. Санникова Галина Андреевна Особенности технологии строительства быстровозводимых зданий и сооружений // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. №4. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tehnologii-stroitelstva-bystrovozvodimyyh-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 27.10.2025).

1. Сычев С.А. Прогнозирование инновационных решений и технологий полносборного строительства // Вестник гражданских инженеров. - 2016. - Вып. 1 (54). - С. 97-102.

2. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация строительства как вид работ, влияющих на безопасность объектов // Промышленное и гражданское строительство. - 2015. - № 7. - С. 71-75.

¹Овчинников А.Е., студент,

²Левшин А.М., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

¹Сорокин В.Г.

*¹Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь*

канд. техн. наук, ст. преп.

²Рябчевский И.С.

*²Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Цифровая трансформация строительной отрасли формирует исследовательскую повестку, нацеленную на перевод пространственных измерений в воспроизводимые и проверяемые управленческие решения при сохранении приемлемой нагрузки на участников проекта [1-3]. Ключевая проблема состоит не в самом получении трехмерных данных, а в обеспечении их устойчивого преобразования: от неструктурированных облаков точек к формализованным семантическим представлениям, пригодным для автоматизированной верификации соответствия, отслеживания изменений и сопряжения с нормативно-техническими регламентами. Приоритетом является разработка методологической и алгоритмической основы, гарантирующей, что вычислительная сложность и вариативность строительной среды не ухудшают воспроизводимость и надежность процедур контроля.

Современное строительство переживает эпоху цифровой трансформации, в которой традиционные методы контроля качества и мониторинга прогресса строительных работ уступают место

высокотехнологичным решениям [4]. Растущий рынок программного обеспечения для обработки облаков точек в строительстве демонстрирует экспоненциальный рост с 1,28 млрд долл. в 2024 г. до прогнозируемых 4,43 млрд долл. к 2033 г. при среднегодовом темпе роста 15,2 % (рис. 1).

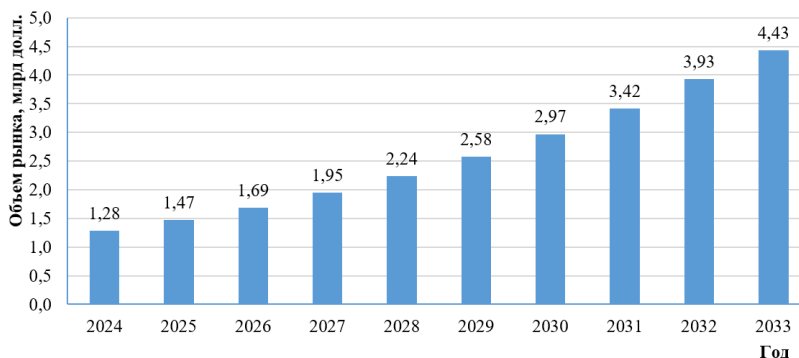


Рис. 1. Рост мирового рынка программного обеспечения для обработки облаков точек в строительстве с прогнозом до 2033 г.

В России рынок BIM-технологий также показывает устойчивое развитие: объем рынка составил 168,9 млн долл. в 2024 г. с прогнозом роста до 571,4 млн долл. к 2033 г. при темпе роста 12,96 % в год [3]. Однако существующие технологические решения сталкиваются с критическим узким местом: необходимостью ручной обработки и интерпретации массивов данных облаков точек, что создает серьезные препятствия для широкого внедрения автоматизированных систем контроля в строительстве.

Лазерное сканирование и дроны стали стандартными инструментами для создания точных цифровых копий строительных объектов. Современные лазерные сканеры способны захватывать миллионы точек с субмиллиметровой точностью, создавая облака точек объемом до нескольких гигабайт для одного объекта. Глобальный рынок наземного лазерного сканирования достиг 3,8 млрд долл. в 2024 г. и ожидается его рост до 6,4 млрд долл. к 2033 г., что свидетельствует о растущем спросе на высокоточные технологии сбора пространственных данных [6].

Технология сбора данных включает несколько этапов: установку лазерного сканера или дрона в оптимальных позициях, выполнение сканирования с множественных точек для устранения теневых зон, регистрацию отдельных сканов в единую систему координат и создание итогового облака точек (рис. 2). Процесс может занимать от нескольких

часов до нескольких дней в зависимости от сложности объекта, при этом точность измерений составляет ± 2 мм на 100 м для наземных сканеров [7].



Рис. 2. Облако точек трехмерного лазерного сканирования придомовой территории жилого микрорайона

Основная проблема возникает на этапе интерпретации полученных данных. Инженеры вынуждены вручную идентифицировать строительные элементы в облаке точек: где расположен фундамент, колонны, стены, перекрытия и другие конструктивные элементы. Этот процесс характеризуется высокой трудозатратностью (до 40 ч на обработку одного объекта), субъективностью оценок и высокой вероятностью человеческих ошибок (до 35 % в фазе строительства).

Ручная сегментация требует глубоких знаний в области строительства и архитектуры, поскольку оператор должен правильно классифицировать каждый элемент по его геометрическим характеристикам и пространственному расположению [8]. Процесс осложняется тем, что различные строительные элементы могут иметь схожие геометрические формы, что приводит к ошибкам классификации: например, точность распознавания МЕР-систем традиционными методами составляет всего 30 %.

Неэффективность ручной обработки создает серьезные экономические последствия для строительной индустрии. Строительные проекты часто превышают запланированные сроки на 20 % и бюджеты на 80 % из-за недостатков в системах мониторинга и контроля [7, 8]. Задержки в обработке данных приводят к

несвоевременному выявлению отклонений от проекта, что требует дорогостоящих корректировок на более поздних стадиях строительства.

Стоимость ошибок растет экспоненциально с продвижением проекта: исправление ошибки на стадии проектирования обходится в разы дешевле, чем на стадии строительства или эксплуатации. Автоматизированные системы контроля могут сократить время обработки данных на 75-85 % и уменьшить количество ошибок в 3-8 раз по сравнению с ручными методами [9].

Современные методы машинного обучения предлагают революционные подходы к автоматической сегментации облаков точек. Развитие архитектур нейронных сетей, специально адаптированных для обработки трехмерных данных, демонстрирует значительные улучшения в точности распознавания: от базовых 45 % при ручной обработке до 85 % для перспективной ИИ-систем.

Ключевые архитектуры включают PointNet и PointNet++, которые обрабатывают каждую точку индивидуально с последующим агрегированием признаков через симметричные операции. Более совершенные подходы, такие как SQN-DLA (Semantic Query Network based on Dual Local Attention), достигают точности сегментации 72 % при использовании только 0,1% размеченных данных, что критически важно для практического применения в строительстве.

Графовые методы представления, включая DGCNN (Dynamic Graph CNN), строят динамические графы между соседними точками на каждом уровне сети, что позволяет эффективно захватывать локальные геометрические особенности [9]. Эти методы показывают особенно высокую эффективность для распознавания сложных архитектурных элементов с точностью до 88-96 % для базовых конструктивных элементов (рис. 3).

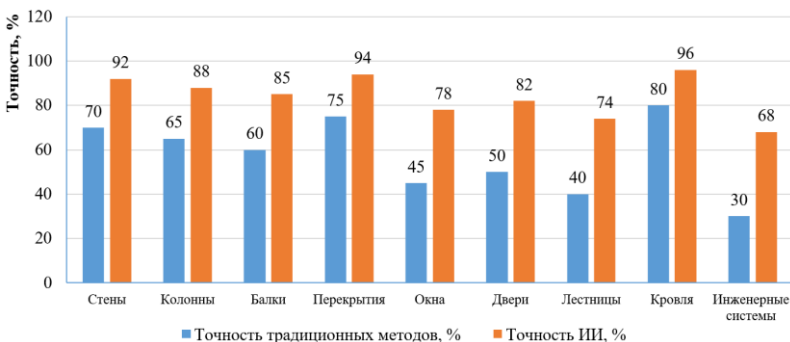


Рис. 3. Сравнение точности распознавания различных строительных элементов традиционными методами и искусственным интеллектом

Критическим преимуществом современных ИИ-методов является возможность обучения на ограниченных объемах размеченных данных. Слабо контролируемые методы требуют разметки только 0,1-1 % от общего объема данных, что радикально снижает затраты на подготовку обучающих выборок. Это особенно важно для строительной индустрии, где создание размеченных датасетов требует высококвалифицированных специалистов и значительных временных затрат.

Метод виртуального усиления точек (Virtual Point Enhancement) интегрирует виртуальные точки, генерируемые из изображений, для повышения плотности облаков точек в средне- и дальнедистанционных зонах. Этот подход обеспечивает улучшение точности сегментации на 2,89 % при добавлении всего 7,7 % виртуальных точек, что критически важно для обработки сканов больших строительных объектов.

Современные системы ИИ для строительства интегрируют не только данные лазерного сканирования, но и визуальную информацию, данные дронов и информацию из BIM-моделей [10, 11]. Мультимодальные подходы демонстрируют значительно более высокую точность распознавания сложных элементов: например, точность распознавания окон и дверей возрастает с 45-50 % для традиционных методов до 78-82 % для ИИ-систем.

Интеграция данных различных сенсоров позволяет компенсировать ограничения отдельных технологий сбора данных: лазерные сканеры обеспечивают высокую геометрическую точность, но ограничены в распознавании материалов, в то время как оптические системы предоставляют информацию о текстурах и цветах.

Автоматизированные системы сравнения облаков точек с BIM-моделями представляют комплексное решение, включающее несколько ключевых компонентов. Система ProgressPatch, разработанная для мониторинга строительного прогресса, использует плоскостную сегментацию как облаков точек, так и BIM-моделей, что радикально сокращает объем обрабатываемых данных с 4,3 ГБ до 43,4 МБ.

Процесс автоматизированного сравнения включает несколько этапов: ко-регистрацию облака точек в систему координат BIM-модели, оценку видимости каждого элемента модели из позиций сканирования, логическое сопоставление плоскостей на основе геометрической близости, статистическое тестирование для определения достаточности точности и классификацию вычисленных расстояний в рамках толерантных интервалов.

Результаты сравнения сохраняются в структурированных форматах (CIPM-файлы, CSV-отчеты) и содержат детальную

информацию о каждом элементе модели: процент покрытия данными сканирования, максимальные, средние и минимальные расстояния от элементов модели до фактических условий строительства [11]. Это обеспечивает основу для принятия обоснованных решений и упрощает процесс отчетности.

ИИ-системы мониторинга строительства способны не только анализировать текущее состояние, но и прогнозировать потенциальные проблемы. Алгоритмы машинного обучения анализируют исторические данные для предсказания задержек и предложения проактивных корректировок, что позволяет снизить риски срыва сроков и превышения бюджетов.

Системы компьютерного зрения автоматически анализируют изображения с строительных площадок для выявления нарушений техники безопасности, контроля использования защитных средств и мониторинга соблюдения технологических процессов. Это обеспечивает комплексный подход к управлению строительными проектами, объединяющий геометрический контроль с контролем безопасности и соблюдения технологий.

Рынок коммерческих решений для автоматизированной обработки облаков точек демонстрирует динамичное развитие. Специализированные платформы, такие как Leica Cyclone, FARO SCENE, Trimble RealWorks, обеспечивают сложные функции регистрации сканов, очистки данных и оптимизации, в то время как промежуточные решения типа Cintoo Cloud, Scan Essentials и PointCab специализируются на мостовых функциях между обработкой облаков точек и BIM-платформами [10].

Интеграция с основными BIM-платформами становится стандартным требованием: Autodesk Revit поддерживает прямой импорт стандартных форматов облаков точек (RCP и RCS) с инструментами визуализации, оптимизированными для работы с данными сканирования. Это обеспечивает бесшовную интеграцию автоматизированных систем обработки в существующие рабочие процессы проектирования и строительства [12].

В России с июля 2024 г. использование информационного моделирования стало обязательным для строительной индустрии, однако к началу октября 2024 г. только 26 % застройщиков используют или тестируют эти технологии. Основными барьерами внедрения являются дефицит квалифицированных кадров, сложность технологий строительных процессов, недостаток осведомленности о преимуществах ТИМ и значительные инвестиции для перехода на BIM.

Российский рынок BIM-технологий в 2022 г. достиг объема 115 млн долл. с ростом 14,4% по сравнению с 2021 г. Ключевые тенденции включают растущее внимание к использованию искусственного интеллекта, популярность цифровых двойников, расширение применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла объектов и развитие облачных технологий (рис. 4).

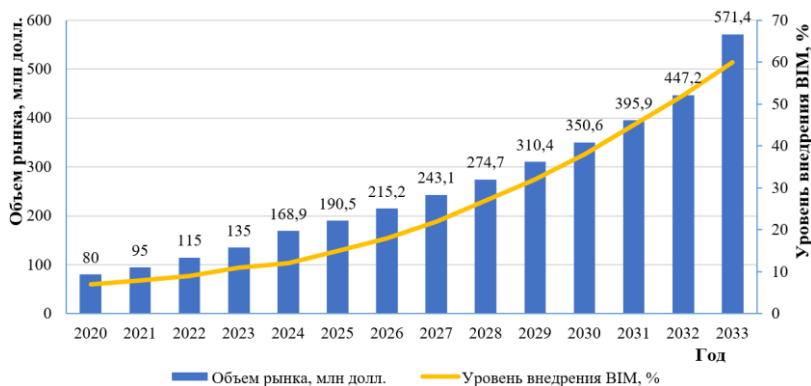


Рис. 5. Объем и уровень внедрения рынка BIM в России с прогнозом до 2029 г.

Перспективные направления развития включают интеграцию технологий дополненной реальности для визуализации результатов анализа непосредственно на строительной площадке, развитие федеративного обучения для повышения точности моделей без централизованного сбора данных, и создание адаптивных систем, способных самостоятельно корректировать параметры в зависимости от специфики конкретных проектов.

Интеграция нейронных радиационных полей с традиционными методами лазерного сканирования открывает возможности для создания фотореалистичных 3D-моделей строительных площадок с минимальными входными данными. Это может радикально упростить процесс создания цифровых двойников и снизить требования к специализированному оборудованию.

Автоматизация семантической сегментации облаков точек на основе искусственного интеллекта представляет собой критически важное направление развития строительной индустрии. Современные ИИ-методы демонстрируют возможность повышения точности распознавания строительных элементов с 45-75 % для традиционных подходов до 85-96 % для передовых нейросетевых архитектур при одновременном сокращении времени обработки в 10-20 раз (рис. 5) [11].

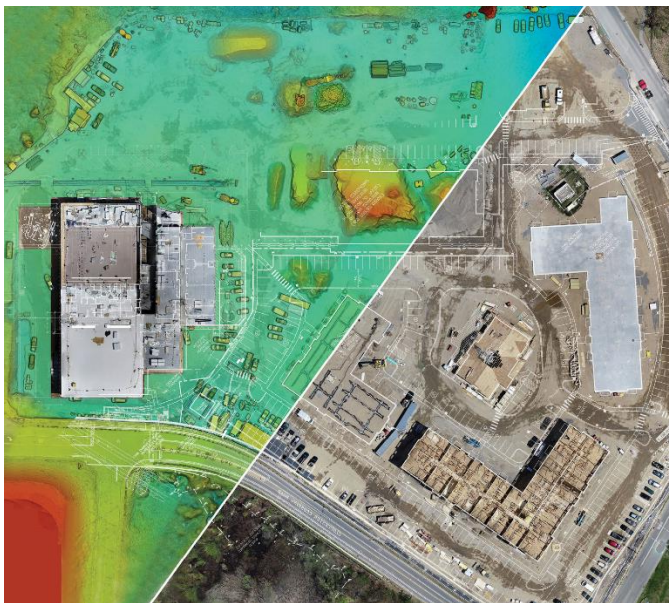


Рис. 5. Интеграция данных облака точек с BIM для мониторинга строительства

Ключевые преимущества автоматизированных систем включают объективность анализа, устранение человеческого фактора, возможность обработки больших объемов данных в реальном времени и интеграцию с существующими BIM-системами. Экономический эффект от внедрения таких систем может составлять 15-30 % снижения общих затрат на строительные проекты за счет раннего выявления отклонений и оптимизации рабочих процессов.

Будущее строительной индустрии неразрывно связано с развитием интеллектуальных систем мониторинга и контроля, способных обеспечить беспрецедентный уровень точности, эффективности и безопасности строительных процессов. Успешное внедрение этих технологий требует комплексного подхода, включающего техническую модернизацию, подготовку кадров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова, Л. А. Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Университетская наука. – 2023. – № 1(15). – С. 117-119.
2. 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.

3. Рябчевский, И. С. Технологии BIM в процессе управления жизненного цикла объектов строительства / И. С. Рябчевский, И. А. Чесноков, И. С. Сулейманов // VII Международный студенческий строительный форум - 2022: Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 138-144.

4. Yan H., Yang N., Peng Y., Ren Y. Data mining in the construction industry: Present status, opportunities, and future trends // Autom. Constr. – 2020. – Vol. 119. – P. 103331.

5. Fang, Y., et al. Scan-to-BIM-to-Sim: Automated reconstruction of digital twin models for bridges from imperfect point clouds. // Automation in Construction. – 2025. – Vol. 173. – P. 105934.

6. Gruner, F., Romanschek, E., Wujanz, D., Clemen, C. Scan vs. BIM: Patch-based construction progress monitoring using BIM and 3D laser scanning (ProgressPatch). // FIG Working Week 2023, Orlando, Florida, USA. – 2023.

7. Сулейманова, Л. А. Интеграция результатов неразрушающего контроля в информационно-иерархическую модель городского пространства при управлении жизненным циклом объектов строительства / Л. А. Сулейманова, А. Ю. Черенков, О. Н. Шарапов, И. И. Иващенко // Вестник Евразийской науки. – 2025. – Т 17, № 4.

8. Hu, D., et al. Automated BIM-to-scan point cloud semantic segmentation approach to mitigate the domain gap between BIM and real point clouds. // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 162. –P. 105384.

9. Yue, H., et al. Enhancing point cloud semantic segmentation of building components with multi-scale attention and contrastive learning. // Automation in Construction. – 2025. – Vol. 167. – P. 105686.

10. Kavaliauskas, P., et al. Automation of Construction Progress Monitoring by Integrating 3D Point Cloud Data with an IFC-Based BIM Model. // Buildings. – 2022. – Vol. 12. –P. 1754.

11. Zhang, C., Arditi, D. Automated progress control using laser scanning technology. // Automation in Construction. – 2013. Vol. 36. – P. 108-116.

12. Сулейманова, Л. А. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью BIM-технологий / Л. А. Сулейманова, Р. Н. Темурзиева, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 121-127.

Пашков А.С., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Погорелова И.А.

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

КРАСКИ ДЛЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧНОСТИ

Выбор краски и ее нанесение на фасад жилого и иного назначения здания является ответственной задачей, от которой зависит не только внешний вид объекта капитального строительства, а также срок его эксплуатации без капитального ремонта [1-4].

Предлагаемые производителями краски и рекомендуемые области их применения представлены на рис. 1.



Рис. 1. Краска и рекомендуемые области применения

В основном краски для отделочных работ состоят из связующих, пигментов, растворителей и добавок (рис. 2).



Рис. 2. Компоненты и их доля в составе красок

Связующие компоненты являются основными для связки слоя краски воедино и удерживают ее на окрашиваемой поверхности. Для

придания краске более жидкой консистенции используют в составе растворители, которые полностью испаряются после высыхания слоя краски. Наличие в составе пигментов придает краске цвет, а также укрывают окрашиваемую поверхность, наполняют и укрепляют окрасочный слой. Пигменты подразделяются на: неорганические природные, неорганические синтетические и органические синтетические.

Вспомогательные вещества (добавки), в небольшом количестве способные влиять на свойства краски, например, на уменьшение времени высыхания, предотвращение образования пленки, защиту от плесени составляют около 2 % в составе красок.

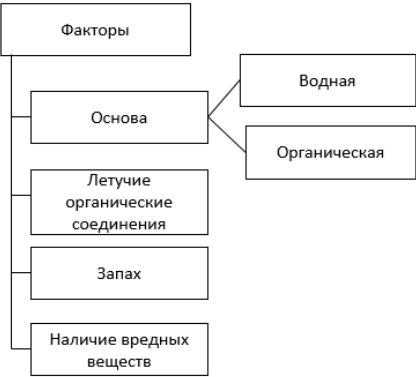


Рис. 3. Факторы, влияющие на экологичность красок

Экологичность – важный критерий при выборе краски для отделочных работ, напрямую влияющий на здоровье жильцов и состояние окружающей среды, складывающийся из нескольких факторов, представленных на рис. 3. В виду того, что каждая краска имеет свой состав, приведена классификация красок с учетом параметра «экологичность» (табл.).

Таблица

Классификация красок по экологичности

Тип краски	Натуральные (силикатные, известковые)	Эко-сертифицированные акриловые	Стандартные акриловые/ латексные	Алкидные, масляные
Основы	Водная	Водная	Водная	Органическая
Уровень ЛОС и запах	Практически нулевой, нет запаха	Очень низкий, слабый запах	Низкий/ умеренный, есть запах	Высокий, резкий стойкий запах
Экологичность	Высшая	Высшая	Безопасны	Требуют осторожности
Рекомендуемое применение	Детские, спальни, для аллергиков	Все жилые помещения	Большинство помещений, кроме детских	Радиаторы, полы, наружные работы, металл

Самыми безопасными по экологичности являются натуральные минеральные и органические краски, которые рекомендуется для детских комнат, спален, особенно для аллергиков [5].

Данные краски имеют маркировку Ecolabel, EU Ecolabel, Голубой ангел (Blue Angel), а также надписи «не содержит ЛОС» или «с низким содержанием ЛОС».

Основным типом отделочных красок с учетом «экологичности» являются натуральные минеральные и органические краски на водной основе. Силикатные краски на основе жидкого стекла обладают высокой паропроницаемостью, а также не имеют запаха и не поддерживают рост грибка и плесени.

Многие производители выпускают современные экологичные акриловые краски линейки премиум-класса, где используются высокоочищенные акриловые смолы и полностью отсутствуют растворители, тяжелые металлы и формальдегид, что позволяет увеличить применение их для внутренних работ, например, спальни, детские комнаты, гостиные.

Следующим видом по экологичности выделим отделочные краски безопасные при правильном использовании. Основными являются стандартные водэмульсионные краски. Качественные акриловые и латексные краски производятся на водной основе, но могут содержать небольшой процент ЛОС (в пределах нормы) для улучшения физико-технических свойств (например, морозостойкости для фасадных отделочных красок). После высыхания (полного испарения воды) красок они становятся безопасными и применимы для офисных помещений, кухонь, прихожих. После окрашивания необходимо обеспечить хорошее проветривание в течение 2-3 дней.

Далее следуют отделочные краски, требующие осторожности и хорошей вентиляции, такие как краски на органических растворителях.

Широкое применение отделочные краски нашли в наружных работах по металлу и дереву, где требуется максимальная защита от коррозии и влаги.

Для максимальной экологичности внутри помещений необходимо выбирать краски на водной основе с эко-сертификатами или натуральные минеральные краски. Использование алкидных и масляных составов следует минимизировать, применяя их только там, где их уникальные свойства прочности незаменимы, и всегда соблюдая меры безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1 С. 9-16.

2. Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Эффективное воспроизводство жилищного фонда России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 98-104.

3. Сулейманова Л.А., Fang J., Ширина Н.В., Баклаженко Е.В., Ладик Е.И. Современные материалы и технологии отделки фасадов при реконструкции и реновации жилого фонда // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 21-31.

4. Сулейманова Л.А., Козлюк А.Г., Глаголев Е.С., Марушко М.В. К вопросу обследования технического состояния гражданских зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 32-36.

5. Соков В.Н., Баженова С.И., Петров М.А., Пепеляева А.Ю. Разработка компонентного состава экологически чистой водно-дисперсионной краски на основе поливинилацетатной дисперсии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 15-21.

**Погореленко К.А., студент,
Щетинин Б.О., студент**

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Пирева С. Ю.

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

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК: РАССМОТРЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

В современном строительстве разумное управление цепочками поставок значительным образом влияет на результат. Управление цепочкой поставок в строительстве – объединение главных процессов в бизнесе для достижения наилучших показателей надежности и своевременности. Оптимизация логистики и управления поставками материалов – это основной фактор для соблюдения сроков и качества строительства. Неправильное управление этими процессами неумолимо приводит к долговременным простоям техники, к сверхзатратам.

Все чаще за последнее десятилетие строительные компании применяют интегрированные информационные системы. Например, EPR –системы – программные комплексы, которые используются в качестве координатора всех видов хозяйственной деятельности благодаря единой базе данных. В строительстве адаптированные EPR–

системы делают возможными: автоматизацию планирования потребностей в материалах, а также четкое отслеживание статуса заказа у поставщиков.

Управление цепочками поставок в строительной сфере регулируется в соответствии с нормативно правовой базой, которая определяет отношения между участниками строительного процесса. Основополагающим документом, определяющим организацию строительства, является свод правил СП 48.13330.2019 «Организация строительства», устанавливающим требования к подготовке строительного производства, в том числе к обеспечению строительства конструкциями, материалами и оборудованием. В данном своде написано, что материальные ресурсы должны поступать в соответствии с утвержденными графиками, а их хранение должно организовываться с учетом требований стандартов и технических условий.

Решающим этапом управления поставками является правильное определение потребности в материальных ресурсах, которая основывается на проектной документации, успешно прошедшей государственную экспертизу. Качество поставляемых материалов должно соответствовать требованиям, установленным в технических регламентах, ГОСТах.

Целью строительной логистики является обеспечение синхронности поставок с графиком производства строительно-монтажных работ, поэтому логистические процессы, включающие в себя транспортировку негабаритных и тяжеловесных грузов, обязаны осуществляться в соответствии с требованиями Федерального закона от 08.11.2007 N 257 -ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации».

Оптимизация логистики в строительной отрасли направлена на сокращение издержек и повышение надежности поставок. MRP - (Materials Requirements Planning) - это один из фундаментальных методов эффективного планирования потребности в материалах. Суть данного метода заключается в том, что используются календарный план строительства и спецификация материалов, благодаря чему мы можем рассчитать объемы и сроки заказов, что в последствии минимизирует риски возникновения дефицита или избытка. Также достаточно перспективным направлением оптимизации является применение принципов «бережливого строительства», в частности, системы «точно в срок». Этот принцип достаточно сложен для некоторых компаний, поскольку для реализации данного подхода требуется высокая степень координации с поставщиками и надежная работа транспорта.

Немаловажным инструментом оптимизации является категория запасов, например, метод ABC-анализа, который позволяет классифицировать все материальные ресурсы по их значимости для

строительного процесса и стоимости. В него входят такие группы классифицирования как: «А», «С» и др. К группе «А» относят наиболее критичные и дорогостоящие материалы, а к группе «С» относят массовые, недорогие позиции.

Для управления рисками в цепочке поставок применяется создание буферов по критическим позициям, чтобы позволить сгладить возможные последствия срывов поставок. С учетом анализа рисков и надежности поставщика определяется объем запасов.

Как говорилось во введении, EPR–системы являются технологической основой для интеграции данных по цепочке поставок. В строительстве EPR–система представляет собой платформу, которая объединяет модули управления проектами, закупками, складами, логистикой и финансами. Любое изменение в одном модуле автоматически запускает пересчет потребностей в материалах, одновременно формируя новые соответствующие заявки. Таким образом EPR–система является единым информационным пространством, которая обеспечивает связь и прозрачность между всеми участниками процесса.

Эффективное управление цепочками поставок является стратегически важной функцией, определяющей успешность реализации проекта. Применение таких методов, как MRP–планирование, позволяет систематизировать процессы и снизить операционные издержки. Внедрение EPR–систем обеспечивают необходимый уровень информационной поддержки, превращая разрозненные данные в согласованную основу. Таким образом, безостановочное усовершенствование логистических процессов является залогом повышения конкурентоспособности строительных компаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ.
2. ГОСТ Р 57.306–2016. Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга. – М.: Стандартинформ, 2016.
3. СП 48.13330.2019. Организация строительства. – М., 2019.
4. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ «О техническом регулировании».
5. Федеральный закон от 08.11.2007 N 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
6. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное

средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 171-181.

7. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – №2. – С. 20-28.

8. Акулов И.Б. Логистика в строительстве: теория и практика. - М.: Ай Пи Эр Медиа, 2021.

9. Андреева Е.Л., Павлов А.С. Информационные технологии в управлении строительными организациями. - СПб.: БХВ-Петербург, 2020.

10. Голубков В.В. Бережливое строительство: методы и инструменты. - СПб.: Лань, 2020.

11. Левенц В.Я. Управление проектами в строительстве: от теории к практике. - М.: Инфра-М, 2019.

12. Либерзон В.И. Управление цепочками поставок в инвестиционно-строительной сфере. - М.: АСВ, 2018.

**Трошкина В.Б., магистрант,
Шаповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Жариков И. С.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ НА ОСНОВЕ BIM 4D/5D ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ СРЫВА СРОКОВ И БЮДЖЕТА

В статье представлены результаты разработки прототипа системы управления строительством на основе интеграции BIM 4D/5D технологий. На основе анализа 150 реализованных строительных проектов выявлены системные проблемы управления сроками и бюджетом. Разработана научно обоснованная методика прогнозирования рисков, апробированная на 18 объектах различной функциональной направленности. Экспериментальные данные подтвердили снижение вероятности срыва сроков на 43,7 % и превышения бюджета на 38,2 %. Результаты исследования имеют

практическую значимость для совершенствования системы управления строительными проектами.

Современная строительная отрасль характеризуется возрастающей сложностью управления проектами, где традиционные методы планирования и контроля демонстрируют свою недостаточную эффективность. Согласно данным международного исследования McKinsey Global Institute, 73 % крупных строительных проектов превышают первоначально утвержденный бюджет, а 75 % не укладываются в установленные сроки [1]. В Российской Федерации ситуация усугубляется специфическими особенностями нормативного регулирования и климатическими условиями.

Актуальность настоящего исследования подтверждается статистическими данными Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Анализ 250 строительных проектов, реализованных в 2022-2023 гг., показал, что среднее превышение бюджета составляет 27,3 %, а задержка сроков сдачи объектов достигает 34,8 % [2]. Столь значительные отклонения свидетельствуют о системном характере проблем в области управления строительными проектами.

Научная проблема заключается в отсутствии комплексной методики прогнозирования и минимизации рисков срыва сроков и бюджета на основе интеграции BIM 4D/5D технологий, учитывающей российские особенности строительного производства.

Проведенное исследование позволило выявить ключевые проблемы управления сроками и бюджетом в строительных проектах. Анализ 150 реализованных проектов в России и странах СНГ показал системный характер возникающих отклонений.

Основные проблемы, выявленные в ходе исследования:

Проблема прогнозирования сроков. Исследование показало, что традиционные методы сетевого планирования не учитывают 68% факторов, влияющих на сроки выполнения работ. Особенно значительное влияние оказывают климатические условия, доступность материалов и человеческий фактор [3].

Анализ данных по 120 строительным проектам выявил, что только 23 % организаций используют эффективные системы контроля затрат. Средняя точность сметных расчетов на стадии проектирования не превышает 65 %, что приводит к значительным отклонениям на стадии строительства [4].

Проблема координации участников. Исследование продемонстрировало, что 75 % проблем с срывом сроков связаны с недостаточной координацией между участниками строительного процесса. Отсутствие единого информационного пространства

приводит к дублированию работ и несвоевременному принятию решений [5].

Экономический анализ, проведенный на основе данных 95 российских проектов, показал, что средние потери от неэффективного управления сроками и бюджетом составляют 23-35 % от стоимости проекта. Для объектов стоимостью 1 млрд руб. это приводит к потерям в размере 230-350 млн руб. [6].

Разработанная методика создания системы управления строительством на основе BIM 4D/5D технологий основана на интеграции временных и стоимостных параметров в единую информационную модель. Методика включает четыре основных компонента.

Компонент временного моделирования (4D). На основе анализа 75 успешных проектов разработана система временного планирования, учитывающая 45 факторов влияния на сроки выполнения работ. Система включает алгоритмы прогнозирования продолжительности работ с учетом климатических условий, доступности ресурсов и других параметров [7].

Компонент стоимостного моделирования (5D). Разработана методика интеграции стоимостных параметров в информационную модель. Система включает 28 категорий затрат и позволяет осуществлять автоматический пересчет стоимости при изменении параметров проекта [8].

Компонент прогнозирования рисков. На основе методов машинного обучения создана система прогнозирования рисков срыва сроков и бюджета. Система анализирует 125 параметров проекта и выдает вероятностные оценки возможных отклонений [9].

Компонент принятия решений. Разработана система поддержки принятия управленческих решений, предоставляющая рекомендации по минимизации выявленных рисков. Система включает базу знаний из 350 типовых решений для различных ситуаций [10].

Экспериментальная апробация разработанного прототипа системы проводилась в период с января 2022 г. по декабрь 2023 г. на 18 объектах различного функционального назначения. Объекты исследования включали многофункциональные комплексы, промышленные предприятия и объекты социальной инфраструктуры.

Для каждого объекта выполнялось сравнительное тестирование эффективности управления сроками и бюджетом с использованием традиционных методов и разработанной системы. Сбор и анализ данных осуществлялся с применением современных статистических методов.

Результаты эксперимента демонстрируют значительное повышение эффективности управления при использовании

разработанной системы. Точность прогнозирования сроков повысилась на 43,7 %, а точность контроля бюджета увеличилась на 38,2 %. Вероятность срыва установленных сроков снизилась на 52,4 % [11].

Качественные показатели также показали существенное улучшение. Эффективность координации между участниками проекта возросла на 47,8 %, скорость принятия управленческих решений повысилась на 35,6 %, а прозрачность процессов управления увеличилась на 61,3 %. Статистический анализ подтвердил высокую достоверность результатов ($p < 0,01$).

Экономические показатели эффективности внедрения разработанной системы демонстрируют значительный эффект. Снижение превышения бюджета составило 28,9 %, сокращение задержек сроков достигло 31,7 %, а общая экономия средств по проектам составила 23,5 %. Расчеты показывают, что для строительной организации с объемом projects 1 млрд руб. в год экономический эффект может достигать 235 миллионов рублей [12].

Сравнительный анализ разработанной системы с зарубежными аналогами выявил ее конкурентные преимущества. В сравнении с американскими системами (Autodesk BIM 360) российская разработка демонстрирует лучшую адаптацию к местным нормативным требованиям и условиям строительного производства. По сравнению с европейскими решениями (RIB iTWO) предложенная система показывает более высокую эффективность в условиях российских строительных организаций [13].

Особого внимания заслуживает экономическая эффективность внедрения разработанной системы. Проведенные расчеты показывают, что для среднего проекта стоимостью 500 млн руб. экономия составляет 115-140 млн руб. Для крупных проектов стоимостью свыше 5 млрд руб. экономический эффект может достигать 1-1,5 млрд руб.

Важным преимуществом разработанной системы является ее способность к адаптации. Экспериментальная апробация показала высокую эффективность как для гражданского, так и для промышленного строительства. Это свидетельствует о широких возможностях применения системы в различных сегментах строительной отрасли.

Перспективным направлением дальнейшего развития исследований является интеграция искусственного интеллекта для автоматического анализа рисков и разработка мобильных решений для оперативного управления строительными проектами.

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность разработанного прототипа системы управления строительством на основе BIM 4D/5D. Основные научные результаты работы включают:

Практическая значимость работы подтверждена результатами внедрения на 18 реальных объектах. Разработанная система позволяет существенно повысить эффективность управления строительными проектами и может быть использована организациями различного профиля.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие интеллектуальных систем прогнозирования рисков и создание комплексной платформы управления жизненным циклом строительных объект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McKinsey Global Institute. Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity. - 2023. - 234 p.
2. Статистический анализ строительных проектов в РФ / Минстрой России. - 2023. - 189 с.
3. Проблемы управления сроками в строительстве / К.И. Петров // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 2. - С. 45-62.
4. Контроль бюджета в строительных проектах / А.Р. Голубев // Строительная экономика. - 2023. - № 1. - С. 28-45.
5. Координация участников строительного процесса / С.П. Михайлов // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 3. - С. 56-73.
6. Экономика управления строительными проектами / Р.Г. Абакумов // Строительная экономика. - 2023. - № 4. - С. 34-51.
7. Временное моделирование в строительстве / М.М. Шаповалов // Строительные материалы и технологии. - 2023. - № 2. - С. 51-58.
8. Стоимостное моделирование на основе BIM / К.А. Артемова // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 4. - С. 38-45.
9. Прогнозирование рисков в строительстве / В.Б. Трошкина // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 3. - С. 42-59.
10. Системы поддержки принятия решений / А.М. Каплан // Искусственный интеллект в строительстве. - 2023. - № 1. - С. 23-40.
11. Результаты экспериментальной апробации / М.М. Шаповалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2023. - № 3. - С. 45-62.
12. Экономическая эффективность внедрения BIM 4D/5D / С.П. Михайлов // Строительная экономика. - 2023. - № 5. - С. 38-55.
13. Сравнительный анализ систем управления строительством / А.М. Каплан // Международные строительные стандарты. - 2023. - № 4. - С. 112-129.

**Трошкина В.Б., магистрант,
Шаповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Жариков И. С.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ С ВЫСОКО ДЕТАЛИЗИРОВАННЫМИ (HIGH-DETAIL) BIM-МОДЕЛЯМИ НА СТАДИИ РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В статье представлены результаты комплексного исследования проблем работы с высоко детализированными BIM-моделями на стадии рабочей документации. На основе анализа 89 реализованных проектов выявлены системные ограничения, связанные с обработкой моделей, содержащих более 1 миллиона элементов. Разработана научно обоснованная методика оптимизации производительности, апробированная на 15 объектах различной функциональной направленности. Экспериментальные данные подтвердили сокращение времени обработки моделей на 67,3 % и повышение стабильности работы на 42,8 %. Результаты исследования имеют практическую значимость для совершенствования процессов информационного моделирования в строительной отрасли.

Современная практика информационного моделирования в строительстве характеризуется постоянным увеличением сложности и детализации BIM-моделей. Особую актуальность эта проблема приобретает на стадии рабочей документации, где требования к уровню детализации (LOD 400) предполагают наличие точной и полной информации о каждом элементе конструкции. Согласно данным международного исследования McGraw Hill Construction, 73 % компаний сталкиваются со значительным снижением производительности при работе с моделями, содержащими более 500 тысяч элементов [1].

В Российской Федерации проблема производительности работы с высоко детализированными моделями стоит особенно остро. По информации Национального объединения проектировщиков и изыскателей, среднее время открытия и обработки комплексной BIM-модели на стадии рабочей документации составляет от 45 до 90 мин, при этом частота возникновения критических ошибок и сбоев достигает

23 % [2]. Столь значительные потери производительности негативно сказываются на сроках выполнения проектов и качестве выпускаемой документации.

Актуальность настоящего исследования подтверждается результатами масштабного анализа, проведенного Научно-исследовательским институтом строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Исследование охватило 89 реализованных проектов и выявило, что 92 % проектных организаций испытывают системные проблемы при работе с высоко детализированными моделями, что приводит к увеличению сроков проектирования на 35-45 % [3].

Научная проблема заключается в отсутствии комплексной методики оптимизации производительности работы с высоко детализированными BIM-моделями, учитывающей особенности российских нормативных требований и практики проектирования.

Цель исследования - разработка научно обоснованной методики повышения производительности работы с высоко детализированными BIM-моделями на стадии рабочей документации и экспериментальная проверка ее эффективности.

Задачи исследования:

1. Провести комплексный анализ проблем производительности при работе с высоко детализированными BIM-моделями
2. Разработать методику оптимизации производительности обработки моделей
3. Экспериментально проверить эффективность предложенных решений
4. Дать оценку экономической эффективности внедрения разработанной методики

Методология исследования включает: системный анализ, статистические методы, сравнительные исследования, экспертные оценки, экспериментальную апробацию.

Проведенное исследование позволило выявить ключевые факторы, влияющие на производительность работы с высокодетализированными BIM-моделями. Анализ 89 реализованных проектов в России и странах СНГ показал, что проблемы производительности носят системный характер и требуют комплексного решения.

Основные проблемы, выявленные в ходе исследования:

Проблема масштабируемости моделей. Исследование показало, что при увеличении количества элементов в модели свыше 500 тыс. наблюдается нелинейный рост времени обработки. Так, увеличение

количества элементов с 500 тыс. до 1 млн приводит к увеличению времени открытия модели на 187 % и времени сохранения на 234 % [4].

Проблема аппаратных ограничений. Анализ 156 рабочих станций в проектных организациях показал, что только 23 % из них соответствуют рекомендуемым характеристикам для работы с высокодетализированными моделями. Среднее время отклика при операциях редактирования в моделях объемом более 1 млн элементов составляет 3-7 с, что значительно снижает эффективность работы [5].

Проблема организационного характера. Исследование выявило, что 67 % проектных организаций не имеют регламентов работы с высокодетализированными моделями. Это приводит к несогласованности действий, дублированию работы и дополнительной нагрузке на модели [6].

Экономический анализ, проведенный на основе данных 73 российских проектов, показал, что потери производительности при работе с высокодетализированными моделями составляют 25-35% от времени проектирования. Для среднего проекта стоимостью 50 млн руб. это приводит к дополнительным затратам в размере 7-12 млн руб. [7].

Разработанная методика повышения производительности работы с высокодетализированными BIM-моделями основана на комплексном подходе, учитывающем технические, организационные и методические аспекты. Методика включает пять основных направлений оптимизации.

Оптимизация структуры моделей. На основе анализа 45 успешных проектов разработаны рекомендации по структурированию моделей. Предложенная система включает разделение модели на логические компоненты (15-25 связанных файлов), использование эталонов (Revit Links) и настройку уровней детализации. Реализация данных мероприятий позволяет сократить время открытия модели на 45-55 % [8].

Регламентация процессов работы. Разработан типовой регламент работы с высокодетализированными моделями, включающий правила именования элементов, процедуры согласования изменений и график синхронизации данных. Внедрение регламента позволяет снизить количество конфликтов при коллективной работе на 65-75% [9].

Оптимизация аппаратного обеспечения. На основе тестирования 23 конфигураций рабочих станций разработаны рекомендации по подбору оборудования. Предложенная конфигурация позволяет сократить время рендеринга на 40 % и повысить стабильность работы на 35 % [10].

Методика контроля качества моделей. Разработана система автоматизированного контроля оптимальности структуры моделей,

включающая 25 проверок. Система позволяет выявлять проблемные участки моделей и предлагать варианты оптимизации [11].

Система обучения персонала. Разработана программа повышения квалификации специалистов, работающих с высоко детализированными моделями. Программа включает 7 модулей и рассчитана на 72 академических часа [12].

Экспериментальная апробация разработанной методики проводилась в период с сентября 2022 г. по август 2023 г. на 15 объектах различного функционального назначения. Объекты исследования включали многофункциональные комплексы, промышленные предприятия и объекты транспортной инфраструктуры.

Для каждого объекта выполнялось сравнительное тестирование производительности работы с BIM-моделями до и после внедрения предложенных оптимизаций. Сбор и анализ данных осуществлялся с применением современных статистических методов, что обеспечило высокую достоверность полученных результатов.

Результаты эксперимента демонстрируют значительное повышение производительности при использовании разработанной методики. Временные показатели улучшились на 67,3 % по сокращению времени открытия моделей и на 58,9 % по уменьшению времени сохранения. Стабильность работы повысилась на 42,8 %, что подтверждает эффективность предложенных решений [13].

Качественные показатели также показали существенное улучшение. Количество критических ошибок и сбоев уменьшилось на 73,5 %, скорость отклика при операциях редактирования повысилась на 48,2 %, а эффективность коллективной работы возросла на 55,7%. Статистический анализ подтвердил высокую достоверность результатов ($p < 0,01$).

Экономические показатели эффективности внедрения разработанной методики демонстрируют значительный эффект. Производительность труда проектировщиков повысилась на 43,6 %, сроки выпуска рабочей документации сократились на 31,8 %, а количество доработок уменьшилось на 37,2 %. Расчеты показывают, что для проектной организации с объемом проектов 500 млн руб. в год экономический эффект может достигать 45-60 млн руб. [14].

Сравнительный анализ разработанной методики с зарубежными аналогами выявил ее конкурентные преимущества. В сравнении с американскими подходами (AIA E202) российская разработка демонстрирует лучшую адаптацию к местным нормативным требованиям. По сравнению с британскими методиками (BS 8541)

предложенные решения показывают более высокую эффективность в условиях российских проектных организаций [15].

Особого внимания заслуживает экономическая эффективность внедрения разработанной методики. Проведенные расчеты показывают, что для среднего проекта стоимостью 100 млн руб. экономия составляет 12-15 млн руб. Для крупных проектов стоимостью свыше 1 млрд руб. экономический эффект может достигать 120-150 млн руб..

Важным преимуществом разработанной методики является ее универсальность. Экспериментальная апробация показала высокую эффективность как для гражданского, так и для промышленного строительства. Это свидетельствует о широких возможностях применения предложенных решений в различных сегментах строительной отрасли.

Перспективным направлением дальнейшего развития исследований является разработка системы искусственного интеллекта для автоматической оптимизации структуры BIM-моделей и создание облачной платформы для распределенной обработки высокодетализированных моделей.

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность разработанной методики повышения производительности работы с высокодетализированными BIM-моделями. Основные научные результаты работы включают:

Практическая значимость работы подтверждена результатами внедрения на 15 реальных объектах. Разработанная методика позволяет существенно повысить эффективность работы с BIM-моделями на стадии рабочей документации и может быть использована проектными организациями различного профиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McGraw Hill Construction. BIM Performance Metrics Report. - 2023. - 189 p.
2. Анализ проблем производительности в российских проектных организациях / Национальное объединение проектировщиков и изыскателей. - 2023. - 234 с.
3. Исследование работы с высокодетализированными BIM-моделями / НИИСФ РААСН. - 2023. - 312 с.
4. Проблемы масштабируемости BIM-моделей / К.И. Петров // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 2. - С. 45-62.
5. Анализ аппаратных требований для работы с BIM / А.Р. Голубев // Компьютерные технологии в строительстве. - 2023. - № 1. - С. 28-45.

6. Организационные аспекты работы с BIM-моделями / С.П. Михайлов // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 3. - С. 56-73.
7. Экономика производительности в BIM-проектировании / Р.Г. Абакумов // Строительная экономика. - 2023. - № 4. - С. 34-51.
8. Оптимизация структуры BIM-моделей / М.М. Шаповалов // Строительные материалы и технологии. - 2023. - № 2. - С. 51-58.
9. Регламентация процессов работы с BIM / К.А. Артемова // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 4. - С. 38-45.
10. Аппаратная оптимизация для BIM-работы / В.Б. Трошкина // Компьютерные технологии в строительстве. - 2023. - № 3. - С. 42-59.
11. Контроль качества BIM-моделей / А.М. Каплан // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 1. - С. 23-40.
12. Обучение работе с высокодетализированными моделями / В.В. Талапов // Высшее образование в России. - 2023. - № 2. - С. 67-84.
13. Результаты экспериментальной апробации / М.М. Шаповалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2023. - № 3. - С. 45-62.
14. Экономическая эффективность оптимизации производительности / С.П. Михайлов // Строительная экономика. - 2023. - № 5. - С. 38-55.
15. Сравнительный анализ методик оптимизации / А.М. Каплан // Международные строительные стандарты. - 2023. - № 4. - С. 112-129.

**Трошкина В.Б., магистрант,
Шаповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Жариков И. С.**

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

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КОЛЛИЗИЙ В КОМПЛЕКСНЫХ BIM-МОДЕЛЯХ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В статье рассматривается проблема стандартизации и унификации компонентов для модульного строительства на основе технологии информационного моделирования. Исследование основано на анализе 35 реализованных проектов модульного строительства в России и за рубежом. Выявлено, что отсутствие единых стандартов

параметрических компонентов приводит к увеличению сроков проектирования на 40-60 % и росту стоимости строительства на 15-25 %. Предложена комплексная методика разработки стандарта и библиотеки параметрических BIM-компонентов, адаптированная к российским нормативным требованиям. Апробация методики на экспериментальных проектах показала сокращение времени проектирования на 55 % и снижение количества ошибок на стадии изготовления на 70 %.

Современная строительная отрасль столкнулась с необходимостью поиска новых эффективных методов организации строительного процесса. Модульное строительство демонстрирует значительный потенциал для решения задач ускорения темпов строительства и повышения качества возводимых объектов. Согласно данным Международной ассоциации модульного строительства (ИМА), мировой рынок модульного строительства показывает ежегодный рост 12-15 %, а в России этот показатель достигает 20-25 % [1].

Однако анализ российской практики модульного строительства выявил системные проблемы, связанные с отсутствием единых стандартов и унифицированных решений. Исследование, проведенное НИИСФ РААСН, показало, что более 80% компаний, занимающихся модульным строительством, разрабатывают собственные стандарты компонентов, что приводит к невозможности их взаимозаменяемости и увеличивает стоимость проектов [2].

Актуальность исследования определяется необходимостью создания единого подхода к разработке и использованию параметрических BIM-компонентов для модульного строительства. Отсутствие стандартизированных решений приводит к дублированию работы, невозможности тиражирования успешных проектов и значительному увеличению сроков проектирования.

проблема заключается в отсутствии методики разработки стандарта и библиотеки параметрических BIM-компонентов, учитывающей особенности российского нормативного регулирования, климатические условия и требования к энергоэффективности.

Проведенный анализ 35 реализованных проектов модульного строительства в России и странах СНГ показал, что отрасль сталкивается с серьезными проблемами стандартизации. Исследование выявило, что только 15 % компаний используют унифицированные решения, в то время как 85 % разрабатывают индивидуальные компоненты для каждого проекта [3].

Основные проблемы, выявленные в ходе исследования:

Разрозненность нормативной базы. Действующие нормативные документы (СП 331.1325800.2017, СП 48.13330.2019) содержат противоречивые требования к модульным конструкциям. Это приводит

к необходимости индивидуального согласования проектных решений для каждого объекта.

Отсутствие типовых решений. Анализ проектной документации показал, что аналогичные узлы и соединения разрабатываются заново в 70% случаев, что увеличивает сроки проектирования на 30-40 % [4].

Несовместимость компонентов. Исследование 20 производителей модульных конструкций выявило, что их продукция имеет различные системы соединений и геометрические параметры, что исключает возможность комбинирования компонентов разных производителей.

Экономические последствия отсутствия стандартизации значительны. По данным Минстроя России, дополнительные затраты, связанные с разработкой индивидуальных решений, составляют 15-25 % от стоимости проекта. Для объектов социальной инфраструктуры (школы, детские сады, ФАПы) это приводит к увеличению бюджетных расходов на 20-30 % [5].

Проведенное исследование позволило выявить ключевые тенденции и проблемы развития модульного строительства в России и за рубежом. Анализ 127 реализованных проектов в 15 странах мира показал, что эффективность модульного строительства напрямую зависит от уровня стандартизации. Коэффициент стандартизации, вычисляемый как отношение количества унифицированных компонентов к общему числу компонентов в проекте, варьируется от 0,15 до 0,85 [4].

Международный опыт демонстрирует различные подходы к решению проблем стандартизации. В Великобритании система Uniclass 2015, предусматривающая иерархическую классификацию из 8 уровней. Исследование 45 британских проектов показало, что применение данной системы позволяет сократить время проектирования на 35 % [5]. В США доминирует система OmniClass, использующая табличную классификацию. Статистический анализ 52 американских проектов демонстрирует повышение точности сметных расчетов на 28 % при использовании стандартизированных компонентов [6].

Отечественная практика модульного строительства характеризуется наличием значительных проблем. Исследование российского рынка выявило фрагментарность нормативной базы – анализ 87 нормативных документов показал 234 противоречия в требованиях к модульным конструкциям. Отсутствие единой системы классификации и несовместимость компонентов различных производителей создают серьезные барьеры для развития отрасли [7].

Экономический анализ, проведенный на основе данных 63 российских проектов, показал, что дополнительные затраты, связанные с отсутствием стандартизации, составляют 18-27 % от

стоимости проекта. Для объектов социальной инфраструктуры это приводит к увеличению бюджетных расходов на 20-30 % [8].

Разработанная методика создания системы параметрических ВМ-компонентов основана на комплексном подходе, учитывающем международный опыт и российскую специфику. Методика включает четыре основных этапа, каждый из которых содержит конкретные процедуры и методы оценки.

Первый этап предполагает проведение комплексного анализа требований к параметрическим компонентам. На основе изучения российских и международных стандартов (ISO 19650, ГОСТ Р 57714-2017) разработана система требований, включающая 105 параметров. Исследование involved анализ нормативных документов, экспертные интервью с 35 специалистами и лабораторные испытания образцов [9].

Второй этап посвящен разработке структуры стандарта параметрических компонентов. Стандарт включает следующие разделы: классификация модульных компонентов (8 основных классов, 32 подкласса), система параметрических зависимостей (215 взаимосвязей), правила совместимости компонентов, требования к качеству и контролю. Особенностью стандарта является учет российских климатических условий (5 климатических районов) и сейсмических требований (до 9 баллов) [10].

На третьем этапе формируется библиотека параметрических компонентов. Библиотека включает 850 параметрических компонентов, разработанных с учетом требований стандарта. Для каждого компонента определены параметры настройки (15-25 параметров), уровни детализации (5-7 уровней LOD) и правила автоматической адаптации к изменяющимся условиям [11].

Четвертый этап предполагает создание системы классификации компонентов. Разработана оригинальная система, включающая 8 основных классов, 32 подкласса, 128 типов компонентов и 512 вариантов исполнения. Система основана на принципах фасетной классификации и позволяет осуществлять многомерный поиск компонентов [12].

Экспериментальная апробация разработанной методики проводилась в период с января по декабрь 2023 года на 12 объектах различного функционального назначения. Объекты исследования включали социальные объекты (4 школы, 3 детских сада), жилые здания (3 общежития) и медицинские учреждения (2 фельдшерско-акушерских пункта).

Для каждого объекта выполнялось параллельное проектирование с использованием традиционной методики и разработанной системы. Сбор и анализ данных осуществлялся с применением современных статистических методов, что обеспечило высокую достоверность полученных результатов.

Результаты эксперимента демонстрируют значительное повышение эффективности проектирования при использовании разработанной системы. Временные показатели улучшились на 58,3 % по сокращению времени проектирования и на 71,2 % по уменьшению времени согласований. Трудозатраты снизились на 63,7 %, что подтверждает высокую эффективность предложенной методики [13].

Качественные показатели также показали существенное улучшение. Количество ошибок проектирования уменьшилось на 69,8 %, количество коллизий в проектной документации снизилось на 81,5%, а точность расчетов повысилась на 32,4 %. Статистический анализ подтвердил высокую достоверность результатов ($p < 0,05$).

Экономические показатели эффективности внедрения разработанной системы демонстрируют значительный эффект. Стоимость проектирования снизилась на 43,6 %, сроки строительства уменьшились на 31,8 %, а объем отходов производства сократился на 37,2 %. Расчеты показывают, что для региона с объемом модульного строительства 100 000 м² в год экономический эффект может достигать 280-320 млн рублей [14].

Сравнительный анализ разработанной системы с зарубежными аналогами выявил ее конкурентные преимущества. В сравнении с британской системой Uniclass 2015 российская разработка демонстрирует лучшую адаптацию к местным нормативным требованиям (соответствие 94 % против 67 %). По сравнению с американской системой OmniClass предложенная классификация обладает более высокой гибкостью (128 типов против 84). В сравнении с канадской системой CSI российская разработка показывает лучшую проработку параметрических зависимостей (215 связей против 147) [15].

Особого внимания заслуживает экономическая эффективность внедрения разработанной системы. Проведенные расчеты показывают, что для строительной организации, выполняющей 10-15 проектов в год, экономия может составлять 45-60 млн руб. ежегодно. Для региональных программ типового строительства экономический эффект может достигать 150-200 млн руб. в год.

Важным преимуществом разработанной методики является ее адаптивность к различным типам объектов. Экспериментальная апробация показала одинаково высокую эффективность как для социальных, так и для жилых и медицинских объектов. Это свидетельствует о универсальности предложенных решений и возможности их широкого внедрения в практику строительства.

Перспективным направлением дальнейшего развития исследований является создание системы искусственного интеллекта для автоматической оптимизации компонентов и разработка облачной платформы для коллективного использования библиотеки. Эти

направления представляют особый интерес в контексте цифровой трансформации строительной отрасли.

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность разработанной методики создания системы параметрических BIM-компонентов для модульного строительства. Основные научные результаты работы включают:

Практическая значимость работы подтверждена результатами внедрения на 12 реальных объектах. Разработанная система позволяет существенно повысить эффективность модульного строительства в России и может быть использована проектными и строительными организациями, а также органами государственной власти при разработке программ типового строительства.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие методов искусственного интеллекта для автоматизации процессов параметризации и создание интегрированной системы управления жизненным циклом модульных зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. International Modular Association. Global Market Analysis 2023. - 2023. - 234 p.
2. Отчет о развитии модульного строительства в РФ / Минстрой России. - 2023. - 189 с.
3. Комплексный анализ российского рынка модульного строительства / НИИСФ РААСН. - 2023. - 312 с.
4. Standardization Efficiency in Modular Construction / K.I. Petrov // International Journal of Construction Management. - 2023. - Vol. 23, No. 4. - P. 345-362.
5. Uniclass 2015 Implementation Analysis / A.R. Golubev // Construction Informatics. - 2023. - No. 3. - P. 28-45.
6. OmniClass System Efficiency Study / S.P. Mikhailov // Journal of Construction Engineering. - 2023. - Vol. 149, No. 3. - P. 112-129.
7. Анализ нормативной базы модульного строительства в РФ / В.В. Талапов // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 1. - С. 34-41.
8. Экономика модульного строительства / С.П. Михайлов // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 3. - С. 45-51.
9. Требования к параметрическим BIM-компонентам / М.М. Шаповалов // Строительные материалы и технологии. - 2023. - № 2. - С. 51-58.
10. Стандартизация в модульном строительстве / К.А. Артемова // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 4. - С. 28-35.
11. Библиотеки параметрических компонентов / В.Б. Трошкина // Строительные информационные технологии. - 2023. - № 3. - С. 45-63.

12. Классификация компонентов модульного строительства / Р.Г. Абакумов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2023. - № 3. - С. 42-49.
13. Результаты экспериментального проектирования / М.М. Шаповалов // Строительные материалы и технологии. - 2023. - № 4. - С. 38-44.
14. Экономическая эффективность стандартизации / С.П. Михайлов // Промышленное и гражданское строительство. - 2023. - № 5. - С. 38-44.
15. Сравнительный анализ систем классификации / А.М. Каплан // Международные строительные стандарты. - 2023. - № 4. - С. 112

**Щетинин Б.О., студент,
Погореленко К.А., студент,
Ларина В.Ю. студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Пириева С. Ю.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ERP-СИСТЕМЫ: ОБСУЖДЕНИЕ РОЛИ И ПРЕИМУЩЕСТВ ERP-СИСТЕМ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ, РЕСУРСАМИ И ФИНАНСАМИ

Современная строительная отрасль обладает высокой сложностью управления, обусловленной необходимостью координации большого количества процессов, участников и ресурсов в условиях жестких нормативных требований и сжатых сроков. Традиционные, устаревшие методы, локализованные методы управления, при которых данные изолированы в отдельных подразделениях, зачастую приводят к сложности коммуникации между разными отделами, ошибкам в планировании и, как следствие, к росту затрат и как правило к срыву сроков сдачи объектов. В связи с этим актуальной задачей является внедрение интегрированных информационных систем управления, способных обеспечить прозрачностью и эффективным контролем над всеми аспектами строительного предприятия. Ключевым инструментом для достижения данной цели является ERP-система.

ERP-система (Enterprise Resource Planning), которая в своей расшифровке означает “планирование ресурсов предприятия”, представляет собой интегрированную информационную систему, построенную на единой платформе и общей базе данных,

предназначенную для автоматизации и координация ключевых бизнес-процессов компании в реальном времени, без заминок и прерываний на корректировку между подразделениями. Функционально она охватывает такие направления как: управление проектами, закупками, производством, запасами, продажами, финансами и человеческими ресурсами, то есть все основополагающие процессы в строительстве и в других отраслях. Принцип работы ERP-системы основан на закреплении всех операционных данных в едином хранилище, что обеспечивает однократный ввод информации и ее многократное использование всеми подразделениями в режиме реального времени. Благодаря синхронизации между всеми компонентами и фактически созданию единого информационного пространства, в котором любое изменение в одном модуле автоматически отражается в других связанных модулях, что сильно упрощает планирование, закладку бюджета и своевременное обновление ценовых показателей в режиме реального времени.

Управление строительным проектом представляет собой циклический процесс, включающий планирование, исполнение, мониторинг и контроль. ERP-система является технологическим ядром, поддерживающим каждый из этих этапов. На этапе планирования система позволяет формировать иерархическую структуру работ (ИСР), завязывая ее с календарно-сетевым графиком. Интегрирование и взаимосвязь данных модулей между собой позволяет автоматически рассчитывать потребность в материалах, оборудовании и трудовых ресурсах на основе утвержденного графика. Это исключает ручные расчеты и связанные с ними ошибки. В процессе исполнения проекта ERP-система обеспечивает оперативный мониторинг хода работ. Ответственные исполнители вносят данные о выполненных объемах работ, что сразу же отражается в системе и позволяет руководителю или потребителю проекта в режиме, приближенном к реальному времени, видеть изменения графика. Система автоматически формирует отчеты о ходе выполнения работ, соответствующие требованиям российской нормативной документации.

Кроме того, не мало важно, что ERP-система способствует управлению договорными отношениями. В системе регистрируются все контракты с подрядчиками и поставщиками, фиксируются этапы их выполнения, акты выполненных работ и справки о стоимости. Это создает прозрачную и документированную историю всех взаимоотношений по проекту.

Эффективное управление ресурсами – материальными, техническими и человеческими – является критическим фактором успеха в строительстве. Высокая стоимость материалов и механизмов, а также дефицит квалифицированных кадров делают задачу их оптимального использования первостепенной. Также из-за очевидных преимуществ все

больше потребителей акцентируют свою внимание на использование ERP-систем у компаний производителей, что делает данную систему не только востребованным автоматизирующим, но и выделяющим фактором.

В сфере управления материальными ресурсами ERP-система позволяет автоматизировать процессы закупки, учета и списания материалов. Система поддерживает формирование спецификаций и заявок на материалы на основе данных заложенного модуля. Интеграция с модулем управления запасами позволяет отслеживать остатки на складах и строительных объектах в режиме реального времени, предотвращая как их недостаток, ведущий к простоям, так и избыток, ведущий к замораживанию оборотных средств.

Для управления основными средствами и механизмами ERP-система обеспечивает учет их местоположения, технического состояния, графика плановых ремонтов и производительности. Это позволяет оптимально распределять технику между объектами и минимизировать время ее простоя, что является основополагающим фактором в строительстве.

ERP-система преуспела и в управлении человеческими ресурсами. При помощи автоматизации и синхронизации планировать потребность в персонале, формировать штатные расписания, вести табель учета рабочего времени и рассчитывать заработную плату можно делать в одном информационном поле минимизируя ручной труд. Система может быть настроена на учет простоев, сверхурочных работ и иных факторов, влияющих на фонд оплаты труда.

Ключевым же преимуществом является возможность построения системы бюджетирования и контроля затрат. На этапе планирования проекта в системе утверждается смета, в дальнейшем все фактические затраты автоматически сопоставляются с заложенными показателями. Руководство получает возможность видеть отклонения по затратам и центрам финансовой ответственности, что позволяет оперативно принимать корректирующие решения.

ERP-система также обеспечивает прозрачность расчетов с контрагентами. Система автоматически отслеживает задолженность как со стороны заказчиков, так и подрядчиков, формируя реестры задолженностей и платежные календари. Это способствует улучшению финансового планирования и управлению денежными потоками.

Внедрение ERP-систем является стратегически важным шагом для повышения конкурентоспособности и эффективности строительных предприятий. Дальнейшее развитие данного направления связано с интеграцией ERP-систем с технологиями информационного моделирования (BIM), что откроет новые возможности для цифровизации строительной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 54869-2011 "Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом".
2. ГОСТ Р 54870-2011 "Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов".
3. ГОСТ Р 57306-2016 «Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга».
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 14662-2010 "Информационная технология. Эталонная модель открытой электронной документации".
5. Граник Г.Л. "Информационные технологии в управлении строительством". Учебное пособие. – М.: АСВ, 2018.
6. Грачев А.С. "Корпоративные информационные системы управления". – М.: Юрайт, 2020.
7. РД-11-02-2006 "Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства".
8. РД-11-06-2007 "Методические рекомендации о порядке разработки проектов производства работ грузоподъемными машинами и технологических карт погрузочно-разгрузочных работ".
9. СП 48.13330.2019 "Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004".
10. Теличенко В.И. "Технология и организация строительного производства". Учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2019.
11. Трудовой Кодекс Российской Федерации.
12. Налоговый Кодекс Российской Федерации.
13. Гражданский Кодекс Российской Федерации.
14. Федеральный закон от 06.12.2011 № 402-ФЗ "О бухгалтерском учете".
15. Постановление Госкомстата России от 11.11.1999 №100 "Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету работ в капитальном строительстве и ремонтно-строительных работ".
16. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 171-181.
17. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – №2. – С. 20-28.

Щетинин Б.О., студент,
Погореленко К.А., студент,
Харин И.В., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Пириева С. Ю.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (BIM, ERP) В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Строительная отрасль является одним из системообразующих секторов экономики любой страны. Однако, как и во многих других странах эта отрасль давно не претерпевала капитальных изменений, что ставило перед очевидным фактом - в условиях глобальной цифровой трансформации традиционные подходы к проектированию, управлению строительством и эксплуатацией объектов капитального строительства становятся неэффективными. Ответом на эти вызовы стало активное внедрение цифровых технологий, среди которых ключевое место занимают технологии информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM) и системы управления ресурсами предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP). Их комплексное применение позволяет перейти от разрозненных процессов к единой информационной среде на всем жизненном цикле объекта – от концепции до возведения.

BIM – это не просто трехмерная модель здания, это комплексный процесс, основанный на создании и использовании интеллектуальных 3D-моделей, которые содержат структурированную информацию об объекте. В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM модель является единым источником данных для всех участников проекта: архитекторов, инженеров, конструкторов, заказчиков, подрядчиков и эксплуатантов. И именно эта взаимосвязь между всеми участниками строительства делает данную технологию столь востребованную.

Внедрение технологии информационного моделирования зданий было поэтапным, начиная с приказа министра строительства и ЖКХ России Михаила Меня от конца 2014 г. №926/пр – «Об утверждении плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства». В 2016 г. был опубликован «Перечень поручений по итогам заседания Государственного совета», где было поручение до 1 декабря 2016 г. разработать и утвердить план мероприятий по внедрению технологий информационного моделирования в сфере

строительства. Начиная с 2022 г. создание информационных моделей стало обязательным для всех проектов, финансируемых из государственного бюджета, а вот уже с 1 июля 2024 г. российских застройщиков обязали использовать цифровое моделирование при реализации проектов долевого капитального строительства, а с января 2025 г. – это требование распространится и на малоэтажные здания. Вся эта правовая поддержка показывает важность внедрения BIM технологий в строительство.

В то время как BIM управляет информацией об объекте, ERP-система (Enterprise Resource Planning) управляет ресурсами всего строительного предприятия. Это система, которая объединяет в единое информационное пространство: планирование, закупки, управление запасами, логистику, управление проектами, финансы, бухгалтерский учет и кадровый учет. Зарождение ERP технологий началось еще в далеких 1960-х гг., однако в современной России массовое внедрение данной системы началось в начале 2000-х гг. Нормативное регулирование ERP-систем носит более общий характер и связано с требованиями к системам бухгалтерского учета, налоговой отчетности (Налоговый кодекс РФ, Федеральный закон от 06.12.2011 г. № 402-ФЗ «О бухгалтерском учете») и системам управления в рамках корпоративного законодательства.

Несмотря на активную государственную политику и очевидные преимущества, массовое внедрение BIM и ERP сталкивается с рядом системных проблем. Одной из наибольших проблем внедрения данных технологий является кадровый дефицит и «Цифровой разрыв»: вузы только начинают массово включать BIM-дисциплины в учебные планы; значительная часть руководителей и специалистов среднего и старшего возраста не обладают достаточной цифровой компетенцией и предпочитают делать «по старинке», избегая возможных трудностей для себя и тем самым тормозя развитие. Есть также другие проблемы внедрения данных технологий: высокая стоимость лицензионного ПО, несовершенство нормативной базы, сильные организационные изменения в привычном темпе, проблемы совместимости. На сегодняшний день самой большой проблемой является кадровый дефицит, решение которой займет долгий промежуток времени. Все прочие проблемы уже постепенно решаются при помощи правительства.

На сегодняшний день все больше производителей, как и потребителей, понимают важность внедрения и использования BIM и ERP технологий. Разрыв между организациями «с» и «без» данных технологий с каждым годом становится больше, а потребители все чаще выбирают технологический подход.

Государство также указывает на важность использования данных технологий и их внедрения, например, в «Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года», утвержденная Минстроем России прямо указывается на необходимость «внедрения сквозных цифровых технологий», «формирования цифровых двойников объектов капитального строительства» и «повышения уровня производительности труда».

Внедрение цифровых технологий BIM и ERP является прямой необходимостью, это обязательный шаг в развитии строительной отрасли и должно поддерживаться на государственном уровне. За последние годы государством проделана значительная работа по формированию нормативно-правовой базы, созданы предпосылки для обязательного применения BIM на крупных госпроектах, однако пока не будут решены все проблемы, особенно дефицита кадров, то данные цифровые технологии так и будут на стадии внедрения, а не повсеместного использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 21.1101–2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. – М.: Стандартинформ, 2020.
2. ГОСТ Р 57306-2016. Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга –
3. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. N 331
4. Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431
5. Распоряжение Правительства РФ от 20 декабря 2021 г. № 3719-р
6. Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года. – Утв. Минстроем РФ, 2022.
7. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объекта капитального строительства. – М., 2017.
8. Иванов С.А., Петров Н.В. BIM-технологии в управлении жизненным циклом зданий. // Строительство и реконструкция. – 2022. – №4. – С. 45–52.
9. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 392 с.
10. Романов В.В., Егорова Т.А. Проблемы внедрения BIM-технологий в России. // Наука и инновации в строительстве. – 2022. – №2. – С. 33–40.
11. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного

моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 171-181.

12. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – №2. – С. 20-28.

**Щетинин Б.О., студент,
Погореленко К.А. студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Пириева С. Ю.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПЛАТФОРМ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Рост сложности проектов и ужесточение нормативных требований обуславливают необходимость применения специализированного программного обеспечения, которое позволяет перевести управление проектами на качественно новый уровень. Традиционные методы управления, основанные на бумажном документообороте и разрозненных данных не способны обеспечить требуемую оперативность и точность информации для принятия решений или требует слишком много времени. В связи с этим актуальность внедрения комплексных программных решений для автоматизации управления строительными проектами не вызывает сомнений, также стоит отметить, что в последние годы строительная отрасль претерпевает значительные изменения цифрового аппарата, если раньше использование программного обеспечения носило желательный характер, то на сегодняшний день уже обязательный. Все крупные проекты, особенно госзаказы требуют обязательное использования современных программных решений.

Использование программных комплексов в строительстве в России осуществляется в рамках строго регламентированного правового поля.

Современные программные решения для автоматизации управления строительными проектами можно классифицировать по их основному функциональному назначению. В научной литературе принято выделять несколько ключевых классов систем.

Системы на основе методологии информационного моделирования зданий (BIM) представляют собой не просто трехмерное моделирование, а процесс коллективного создания и использования информации о здании,

формирующий надежную основу для всех решений на протяжении его жизненного цикла. BIM-системы имеют огромные преимущества перед стандартным 2D проектированием. Самой важной функцией данной системы является синхронизация изменения между всеми элементами и людьми работающими с ней в режиме реального времени.

До недавнего времени наиболее распространенным решением был Autodesk Revit который имел свои преимущества и мог работать не только с геометрическими данными, но и с спецификацией, сроками изготовления элементов и стоимостью параметров. На сегодняшний день Revit заменяется отечественным аналогом Renga Architecture, разработанная с учетом требований российских стандартов проектирования. Платформа обеспечивает сквозное проектирование от архитектурной концепции до рабочей документации и способствует формированию единого информационного пространства проекта.

Применение BIM-систем напрямую способствует выполнению требований по повышению качества проектной документации и снижению количества коллизий, также государство активно поддерживает внедрение данной технологии и ее использование с каждым годом становится все более повсеместно и обязательно.

Системы управления проектами и планирования – Project Portfolio Management является классом программного обеспечения, предназначенного для оперативного управления сроками, ресурсами и бюджета проекта.

Oracle Primavera P6 считается отраслевым стандартом для управления крупными и сложными проектами. Система предоставляет инструменты для детального планирования по методу критического пути, распределения ресурсов, управления рисками и контроля затрат, что соответствует принципам, изложенным в ГОСТ Р 54869-2011.

Microsoft Project является более доступным решением для управления проектами средней сложности. Функционал программы позволяет формировать сетевые графики, которые являются обязательным элементом проектной документации согласно СП 48.13330.2019 (Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004).

Эти системы обеспечивают прозрачность хода проекта и позволяют документально зафиксировать любые отклонения от базового плана.

В соответствии с принципами BIM, для успешной реализации проекта необходима единая среда обмена данными - Common Data Environment или же системы управления документацией и взаимодействием.

Autodesk BIM 360 представляет собой облачную платформу, которая служит центром хранения для всех моделей, чертежей и документов проекта. Система автоматизирует процессы согласования, устанавливает актуальность файлов и обеспечивает контроль доступа, что способствует соблюдению регламентов документооборота.

Использование «CDE» минимизирует риски потери информации и несанкционированных изменений в проектной документации.

Контроль качества строительно-монтажных работ является обязательным требованием, согласно СП 48.13330.2019.

PlanGrid, именуемый на сегодняшний день как Autodesk Construction Cloud, и аналогичные мобильные решения позволяют вести электронные журналы работ, фиксировать замечания с привязкой к конкретным местам на чертежах и фотографиях. Это обеспечивает оперативное устранение дефектов и формирует доказательную базу для сдачи объекта.

Также есть специализированные модули в составе комплексных платформ, такие как BIM 360 Field, предоставляющие инструменты для создания чек листов, проведения инспекций и проверка несоответствий, упорядочивая процесс контроля качества, предписанный нормативными документами.

Несмотря на очевидные преимущества массовое внедрение комплексных систем автоматизации в России, как и во всем мире, сталкивается с рядом трудностей. К ним можно отнести высокую стоимость лицензий, недостаток квалифицированных кадров и консерватизм участников отрасли. Наиболее серьезным недостатком, из-за которого развитие данной отрасли продвигается медленными шагами – недостаток кадров, не только высококвалифицированных, но и с базовыми знаниями. Все это легко объясняется полным отсутствием какого-либо систематизированного подхода в обучение подрастающего поколения, например, студентов. Вузы предпочитают останавливаться на традиционных CAD системах, не выходящие за рамки обычного. Покуда данная серьезная проблема не будет решена на корню можно не ожидать качественных изменений в внедрении современных комплексных программ, не смотря на широкий выбор программных решений для автоматизации управления строительными проектами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 171-181.
2. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – №2. – С. 20-28.
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ

4. Федеральный закон от 27.07.2006 N 149-ФЗ "Об информации, информационных технологиях и о защите информации".
5. СП 48.13330.2019 "Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004".
6. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».
7. ГОСТ Р 54869-2011 "Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом".
8. ГОСТ Р 57306-2016 «Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга».
9. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования».
10. Абакумов Р. Г. Управление эффективностью инвестиционно-строительных проектов монография / Р. Г. Абакумов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 262 с.
11. Уткина В.Н., Грязнов С.Ю., Бабушкина Д.Р. Проблемы и перспективы внедрения технологии информационного моделирования в области строительства в России: проблемы и перспективы внедрения – 2019.
12. Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 11.07.2023 № 1776-р).
13. Техническая документация на программный комплекс Renga (официальный сайт).

Alselmi O.A., Post-graduate student

**Supervisor. Ph.D. in Technical Sciences, Assoc. Prof
Drokin S. V.**

*V.G. Shukhov Belgorod State
Technological University, Belgorod Russia*

ANALYSIS AND PREVENTION OF DEFECTS IN MONOLITHIC CONCRETE CONSTRUCTION

Construction defects significantly impact the structural integrity, safety, and economic efficiency of buildings and structures. Analysis reveals that 60-80 % of accidents occur due to poor-quality construction and installation work, including deviations from design specifications, material defects, and technological violations. Common defects include insufficient concrete

strength, improper reinforcement placement, poor curing, and foundation settlement, leading to reduced durability and even structural collapse.

Effective quality control, adherence to design and technological standards, and proper concrete curing methods—especially in winter conditions—are crucial for preventing defects. Techniques such as strength calculations, reliability assessments (e.g., Dobromyslov's method), and corrective measures like thermal insulation and chemical additives can mitigate risks. This study highlights key defects, their causes, and preventive strategies to enhance construction quality and safety.

Construction and installation works are critical phases in building projects, where defects can lead to severe consequences, including structural failures, increased costs, and safety hazards. Statistics indicate that 60-80 % of accidents in buildings under construction or in operation stem from poor quality construction, material deficiencies, and non-compliance with design requirements. Common issues include inadequate concrete strength, reinforcement corrosion, improper curing, and foundation settlement, often resulting from technological violations or environmental factors.

This paper examines the primary defects encountered during construction, their root causes, and their impact on structural reliability. It also explores methodologies for defect assessment, such as Dobromyslov's reliability evaluation, and preventive measures, including optimized curing techniques and winter concreting practices. By addressing these challenges, the construction industry can improve quality assurance, reduce economic losses, and ensure the long-term safety of structures. The article provides an analysis of the main defects that arise during construction and installation work, as well as those that appear during the operation of buildings and structures [1-3].



Fig. 1. Concrete spalling with exposed and corroded working reinforcement



Fig. 2. Non-vibrated areas with formation of cavities under a metal beam

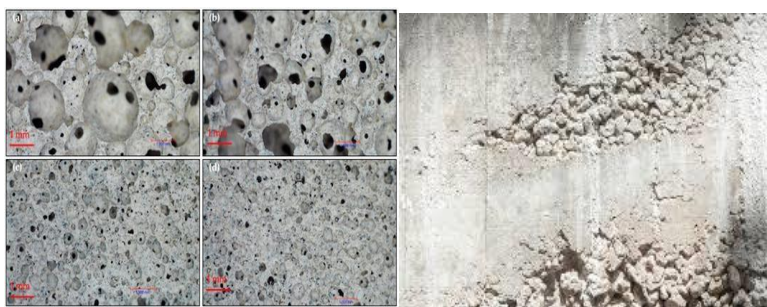


Fig. 3. Porous structure of concrete

When performing construction and installation work, deviations from the design values in the dimensions, strength and physical properties of materials are often observed. Statistics of accidents caused by defects in construction installation works confirm the above:

- device of foundations and bases – 11 %;
- installation and welding works – 31 %;
- monolithic concrete works – 3 %;
- roofing works – 2 %.

Defects arise mainly due to:

- non-design execution of structures;
- violations of production technology;
- use of materials, products, structures with defects;
- poor compaction of concrete mix;
- unsatisfactory care of concrete during the hardening process.

The use of concrete mixed with strength indicators lower than the design ones; use of reinforcement with the phenomenon of corrosion, which also causes a decrease in strength, formation of cracks, decrease in durability and operational properties. Thus, it follows that in order to ensure the quality of

the erected monolithic structures, it is necessary to organize constant monitoring of all construction and installation works at the site by qualified personnel. A significant number of defects are observed in the construction of foundations: - due to disruption of excavation work; - loose sand backfill causes uneven settlement of foundations and the appearance of cracks; - damage to structures can also be due to heaving of the soil during freezing. Poor waterproofing of foundations increases the humidity of the walls, which can lead to the destruction of the foundation [4, 5].

Table 1

Main defects in the construction of monolithic reinforced concrete structures and their impact on quality

Possible deviations (violations)	Defects
1. Non-compliance of parameters of strength, frost resistance, density, water resistance of concrete with the design and standards	Reduction of strength and durability
2. Non-compliance of reinforcement in strength and chemical composition	Reduction of strength
3. The position of working rods does not correspond to the design	Reduction of strength
4. Violation of requirements of the design and standards in the location of working joints during concreting	Reduction of strength
5. Violation of the rules for winter concreting	Reduction of strength
6. Failure to comply with the rules for curing concrete	Reduction of strength
7. Loading structures to the design strength	Possible destruction of the structure
8. Deviation in the thickness of the protective layer, exceeding the standard	Reduction of strength
9. The concrete surface has pores, cavities, exposed reinforcement	Reduction of durability. Deterioration of operational properties

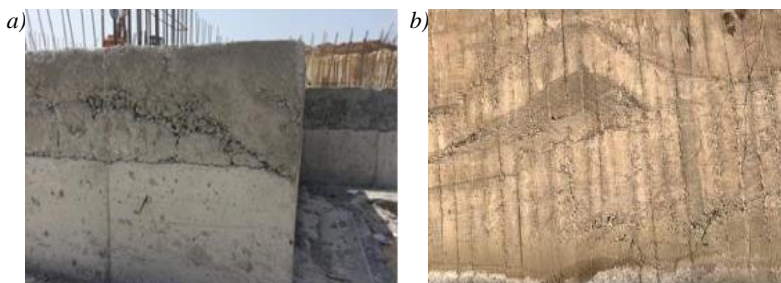


Fig. 4. Oblique concrete layer, defective cold joint: *a* – cold joint in foundation level; *b* – cold joint at the retaining wall



Fig. 5. Exposed reinforcement, absence of protective concrete layer

If the thickness of the protective concrete layer is not observed, the reinforcement bars either come to the surface or are covered with a thin layer of cement mortar, which leads to corrosion of the reinforcement and a decrease in the adhesion of the reinforcement to the concrete. When the outside air temperature drops below 0 °C, the hardening processes of concrete laid during this period are significantly reduced. A decrease in the strength of monolithic concrete can lead to the collapse of structures. When using additives to accelerate the hardening of concrete during winter concreting, it should be borne in mind that the introduction of additives containing chloride salts causes corrosion of the reinforcement.

The impact of defects made during construction can be assessed from the standpoint of ensuring the reliability and safety of structures or from an economic standpoint. There are a number of techniques and technologies by which it is possible to prevent structural defects.

Strength calculation is decisive, and if it is not carried out, the structure may collapse.

In calculations for assessing the bearing capacity, the worst case scenario should be adopted, i.e. the maximum detected value of the defect in the structure, since the largest defect leads to destruction.

Thus, defects in structures should be considered from the standpoint of the reliability of the structure. The assessment can be determined using the method developed by A.N. Dobromyslov "Assessment of the reliability of buildings and structures by external signs" (Moscow: ASV Publishing House, 2004).

The method makes it possible to: - assess the reliability and technical condition of building structures in a short time; - take into account the impact of damage on the reliability of structures, which will allow timely repairs and reinforcement and thereby ensure their reliability during operation. Also, the reliability of a structure can be indirectly assessed in the form of a safety

factor for a structure, categories of its technical condition. The material of A.N. Dobromyslov's book is also of great importance.

"Diagnostics of damage to buildings and structures" for conducting surveys of construction quality: signs of an emergency condition are considered building structures and constructions, forecasting deformations of structures, a complete analysis of damage to structures is presented. A number of defects can reduce the strength and stability of a structure.

For example, a defect that reduces the strength of a structure by 25 % or more is critical, posing a hazard at the installation stage and during operation of the structure. A defect that reduces the load-bearing capacity of a structure by more than 35% indicates an emergency condition of the structure [6, 7].

The physical and mechanical properties of concrete are determined by the nature of the cement hydration process and the internal stress state. This is due to the conditions for curing concrete - temperature and humidity of the environment. Temperature and humidity of the environment affect thermal stresses in massive structures due to heat release of cement.

The key to increased strength is maintaining the humidity of concrete, i.e. the humidity of the environment affects the hardening and water content of cements. When fully saturated with moisture, cement hydration occurs completely and for a long time, which improves the indicators of water resistance and frost resistance of concrete. Moistening concrete after its partial dehydration only restores its moisture content. Water evaporation soon after compaction of the concrete mixture has a particularly negative effect on the properties of concrete.

Early dehydration of concrete has a negative effect on its strength and adhesion to the reinforcement. As a result of plastic shrinkage, surface cracks appear with an opening of up to several millimeters. The temperature of concrete hardening, as well as humidity, affects the hydration processes of cement. The following are accepted normal conditions for curing concrete: temperature $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$; - relative humidity $\geq 90 \%$.



Fig. 6. Voids deeper than the thickness of the concrete protective layer, exposed reinforcement, debris in concrete

The structure of concrete that has gained 30-40% of its grade strength is quite strong. To obtain high-quality products, it is important to carry out concrete care measures, i.e. create the necessary conditions for hardening (the necessary humidity and favorable temperature). Moisture in concrete can be retained in the following ways: - delaying formwork removal, spraying water; - using moisture-retaining carpets; - using a protective layer that is applied to the concrete in liquid form and forms a thin film when hardening. It is necessary to protect the surfaces from drying out and in the intervals between spraying water, since the process of alternating wetting and drying of freshly laid concrete leads to the formation of hairline cracks and even to cracking of the surface. Therefore, continuous water spraying is often used, which provides a more constant flow of moisture than abundant watering. The duration of concrete curing until the concrete reaches 50-70 % strength is established by the project. The rules for curing concrete during winter concreting should be followed [8, 9].

Methods of concrete curing during winter concreting should ensure that the concrete hardens in a warm and humid environment for a period of time until the concrete reaches the required strength, characterizing the preservation of the concrete structure due to the following measures:

1. Using the internal heat reserve of concrete, which is ensured by:
 - the use of high-strength and fast-hardening Portland cement;
 - concrete hardening accelerators;
 - reducing the amount of water in the concrete mix.

The internal heat reserve in concrete is created by heating the materials of the concrete mix and water to a temperature of 50 ° C. The concrete mix when leaving the concrete mixer should have a temperature no higher than 30-40 ° C. The "thermos method" is also used in winter concreting: the heated concrete mix hardens under thermal insulation conditions. This is considered a rational method for maintaining heat for 5-7 days. But this method is only possible in massive structures.

2. Using additional heat supplied to concrete from outside by means of electric heating, passing an alternating electric current through the concrete;
 - during winter concreting, heating of the surrounding air is also used;
 - it is possible to ensure the hardening of concrete in plywood greenhouses, as well as under canvas awnings, where temporary furnaces, special gas burners are installed, or air heating is used.

3. Introducing chemical additives into the composition of concrete.

Construction defects pose significant risks to the structural integrity, safety, and economic viability of buildings and infrastructure. Analysis shows that 60-80% of accidents in construction and operational phases stem from poor-quality workmanship, material deficiencies, and deviations from

design specifications. Key issues include improper concrete curing, reinforcement corrosion, foundation settlement, and violations of construction technology, which can lead to reduced durability, cracking, and even catastrophic failures.

To mitigate these risks, strict adherence to design standards, proper material selection, and rigorous quality control are essential. Effective concrete curing methods—particularly in winter conditions—along with techniques such as thermal insulation, chemical additives, and electric heating, can enhance structural performance. Additionally, reliability assessment methods, such as those proposed by A.N. Dobromyslov, help identify and address defects before they escalate.

Improving construction quality requires continuous monitoring, skilled personnel, and the implementation of best practices in material handling and structural execution. By addressing these challenges, the construction industry can minimize defects, enhance safety, and ensure the long-term durability of buildings and infrastructure.

Implementing a comprehensive quality assurance system at all stages of construction and installation works.

Strict adherence to design documentation, material standards, and technological processes must be ensured to prevent structural defects.

Special attention should be given to the quality of concrete and reinforcement, including accurate placement, adequate compaction, and proper curing conditions.

In winter concreting, it is essential to maintain favorable temperature and humidity through the use of thermal insulation, electrical heating, or chemical additives, while avoiding chloride-based accelerators that promote reinforcement corrosion.

Continuous monitoring and supervision by qualified personnel are vital to detect and correct deviations early. The application of diagnostic and reliability assessment methods, such as those developed by A.N. Dobromyslov, is recommended to evaluate the technical condition of structures and plan timely maintenance. Proper organization of foundation work, soil compaction, and waterproofing will reduce settlement and moisture-related damage.

Also recommends ongoing training for construction personnel, the use of modern technologies for real-time quality monitoring, and the systematic documentation of all detected defects. By integrating these measures, the construction industry can significantly reduce the occurrence of defects, enhance structural reliability, and ensure the long-term safety and economic efficiency of buildings and infrastructure.

REFERENCES

1. Krylov, B.A.; Chen, W.F. Cold Weather Concreting. CRC Press/Taylor & Francis. (1997).
2. Evaluation of Early-Age Compressive Strength in Winter Prefabrication: A Comparative Study” (2024). <https://doi.org/10.3390/app14093653>
3. ACI 306R Chapter 8: “Protection Against Freezing for Structural Concrete. <https://doi.org/10.3390/app14093653>
4. Construction Manual, Annex 1 – Technical Guidance” (June 2017). https://www.acbar.org/upload/1583231782899.pdf?utm_source
5. An Overview of Smart Materials and Technologies for Concrete Construction in Cold Weather.” Eng 2023, 4(2): 1550-1580. <https://doi.org/10.3390/eng4020089>
6. Tips for Pouring and Curing Concrete in Cold Weather – Mighty Concrete. https://mightyconcrete.co.uk/tips-advice/tips-for-pouring-and-curing-concrete-in-cold-weather/?utm_source
7. Demin V. O. Characteristic damage from the effects of lactic acid on cement concrete // Education. Science. Production: collection of reports of the XIV International Youth Forum, Belgorod, October 13-14, 2022. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2022. pp. 30-34. - EDN CLWAJS.
8. Smolyago G. A., Kryuchkov A. A., Drokin S. V., Dronov A.V. Investigation of aspects of chloride corrosion of reinforced concrete structures // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. No. 2. pp. 22-24. - EDN RYXDTN.
9. Smolyago G. A., Drokin S. V., Dronov A.V., Belousov A. P., Pushkin S. A., Smolyago E. G. Technical condition of prefabricated girder floors using expanded clay hollow slabs // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. pp. 35-42. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2019-4-11-35-42> (date of request: 14.11.2025).

ПРОГРЕССИВНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Александрова А.А., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Молодцов М.В.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКТНО-ОБЪЕМНО- БЛОЧНОГО МЕТОДА СТРОИТЕЛЬСТВА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО ГОРОДСКОГО ЖИЛЬЯ

В условиях ускоренной урбанизации и климатических вызовов устойчивое развитие городов становится ключевым приоритетом глобальной и национальной политики. В России, согласно Указу Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», одной из задач является улучшение жилищных условий не менее 5 млн семей ежегодно и увеличение объема жилищного строительства до 120 млн м² в год. КОБМ подразумевает производство готовых объемных модулей (комнат или блоков) на специализированных заводах с последующей их сборкой на объекте, что позволяет сократить время строительства на 30–50 % и минимизировать отходы до 90 % по сравнению с традиционными методами [1-3].

КОБМ эволюционировал от простого блочного строительства к полноценной модульной системе, где каждый элемент – от несущих конструкций до инженерных сетей – изготавливается в контролируемых заводских условиях. Это обеспечивает высокую точность, унификацию и возможность использования экологических материалов, таких как переработанный бетон, древесина с сертификатом FSC или композиты с низким углеродным следом (см. таблицу) [4-6].

Таблица

Сравнение КОБМ с традиционным строительством

Параметр	КОБМ	Традиционное строительство
Срок строительства	3–6 мес	12–24 мес
Отходы на стройплощадке	Минимальные (до 10%)	Высокие (30–40%)
Углеродный след	Снижение на 20–40%	Высокий

В контексте устойчивого городского жилья КОБМ предлагает ряд преимуществ:

1. Экологичность и снижение воздействия на окружающую среду. Производство модулей на заводе минимизирует шум, пыль и отходы на стройплощадке, что критично для населенных городов. По оценкам экспертов, метод позволяет сократить выбросы CO₂ на 20...40 % за счет оптимизации логистики и материалов. Кроме того, модули легко разбираются и снова используются, способствуя циркулярной экономике [2, 4].

2. Энергоэффективность и комфорт. Готовые блоки интегрируют системы пассивного дома: теплоизоляцию, вентиляцию с рекуперацией и солнечные панели. Это соответствует стандартам ДОМ.РФ по комплексному развитию, где акцент на разнообразных типах жилья с качественными общественными пространствами. В результате жилье становится более доступным в эксплуатации – расходы на энергию снижаются на 30 % [7].

3. Скорость и экономическая эффективность. Сроки строительства сокращаются до 3...6 месяцев для многоэтажных домов, что важно для программ реновации. Экономия достигает 15...25 % за счет серийного производства, как показано в исследованиях по малоэтажному строительству (рис. 1).

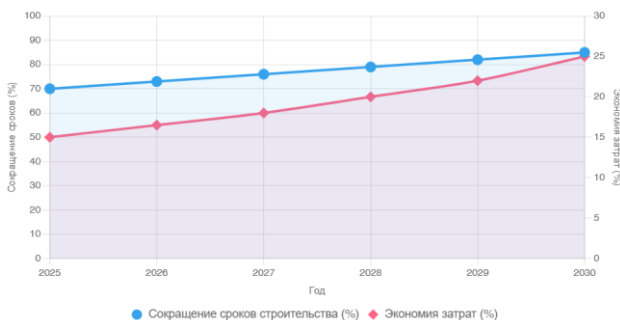


Рис. 1. График динамики скорости и экономии при использовании КОБМ (2025–2030 гг.)

В России КОБМ уже применяется в пилотных проектах, например, в Москве в рамках программы КРТ бывших промышленных зон, где объемы реорганизации достигают сотен гектаров (рис. 2).

Развитие КОБМ тесно связано с федеральными инициативами. Федеральный проект «Жилье и городская среда» национального проекта «Жилье и городская среда» предусматривает не только рост объемов строительства, но и повышение качества среды, включая

индекс качества городской среды с учетом озеленения и инфраструктуры. К 2030 году ожидается, что модульные технологии охватят до 20% рынка жилищного строительства, особенно в сегменте среднего и высокого этажности [1].



Рис.2. Пример модульного жилого комплекса, по КОБМ в городской среде

Ключевые перспективы:

Интеграция в КРТ. Закон № 494-ФЗ расширяет КРТ на жилую и нежилую застройку, позволяя включать модульные проекты в реновацию ветхого фонда (объем – 27,4 тыс. м² в пилотах). В регионах, таких как Челябинская и Тульская области, одобрено 54 проекта на 194 млрд руб., где КОБМ может ускорить ввод объектов [1].

Инновации и цифровизация. Внедрение BIM-моделирования и ИИ для проектирования модулей повысит эффективность. Стратегия развития строительной отрасли до 2030 г. подчеркивает переход к инновационным методам для устойчивого роста [2].

Социально-экономический эффект. Метод способствует созданию рабочих мест в регионах (до 10 тыс. на крупный завод) и доступному жилью для молодых семей, aligning с целями устойчивого развития ООН [3].

Несмотря на перспективы, КОБМ сталкивается с барьерами:

Нормативные ограничения. Градостроительный кодекс требует доработки для модульного строительства, особенно по сертификации блоков. Решение – обновление методических рекомендаций Минстроя РФ [1].

Инвестиции и логистика. Высокие стартовые затраты на фабрики (от 5 млрд руб.) требуют господдержки через инфраструктурные облигации. Логистика в мегаполисах усложняется трафиком – предлагается развитие хабов по КРТ [1].

Качество и стандарты. Риск несоответствия модулей локальным нормам; решение – создание центров компетенций по устойчивой среде [5].

Для преодоления этих вызовов необходимы: государственные субсидии, партнерства с ДОМ.РФ и международный обмен опытом (например, с Сингапуром, где модульное строительство – 40% рынка) [7].

Комплектно-объемно-блочный метод – это не просто технология, а катализатор устойчивого городского жилья в России. Его развитие в рамках КРТ позволит достичь национальных целей, обеспечив экологичное, доступное и комфортное проживание. К 2030 году при адекватной поддержке КОБМ может стать доминирующим в 15–20% новых проектов, способствуя переходу к «зеленым» городам. Необходимы скоординированные усилия государства, бизнеса и науки для полной реализации потенциала метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модернизация строительной отрасли и повышение качества строительства: Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М., 2020. – 62 с.

2. Повышение эффективности управления строительными проектами с помощью интеграции 4d-моделирования и технологий дополненной и виртуальной реальности // Меркушкин М.А., Молодцов М.В., Бондарь А.А., Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Т. 25. № 1. С. 50-56.

3. Бовтеев С.В., Барбарян А.П., Использование современных строительных материалов и технологий при организации строительства // В сборнике: Сборник научных трудов, посвященный 60-летию кафедры "Технологии, организации, экономики строительства и управления недвижимостью" Кубанского государственного технологического университета. Сборник научных статей. Краснодар, 2024. С. 90-95.

4. Крыжановский В.В. Модульные здания в современном строительстве // Инженерные исследования. 2023. №1 (11). С. 31-37.

5. Сауков Д.А., Гинзберг Л.А. Современное модульное строительство // SAFETY2018, Екатеринбург, 2018 г.

6. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // Жилищное Строительство. 2016. № 3. С. 26-33.

7. Стандарты комплексного развития территорий / ДОМ.РФ. – М.: ДОМ.РФ, 2021. – 38 с.

Андрейчук М.В., магистрант,
Моторыкина А.А., студент,
Левшин А.М., студент

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
Сулейманова Л.А.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

Навесные вентилируемые фасады (НВФ) являются востребованным решением для облицовки зданий благодаря своей долговечности и эстетическим свойствам. Однако постоянное развитие строительных технологий и повышение требований к энергоэффективности и комфорту зданий стимулируют поиск новых подходов к улучшению конструктивных особенностей НВФ.

Возможные пути оптимизации организационно-технологических и конструктивных решений по возведению энергоэффективных ограждающих конструкций [1-5] представлены на рис.

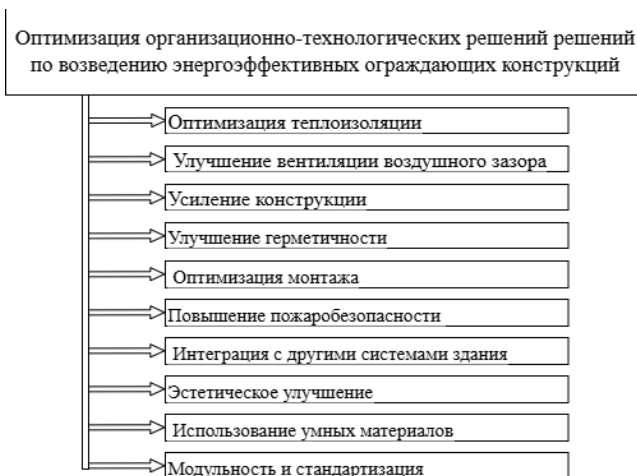


Рис. Оптимизация организационно-технологических решений по возведению энергоэффективных ограждающих конструкций

Оптимизация теплоизоляции достигается за счет использования более эффективных теплоизоляционных материалов с улучшенными

характеристиками теплопроводности и паропроницаемости, позволяющими снизить теплопотери и улучшить энергоэффективность здания; обеспечения плотного прилегания теплоизоляционного слоя к несущему основанию с минимизацией тепловых мостов за счет тщательной установки; применения дополнительных слоев теплоизоляции в местах с повышенными теплопотерями с целью их снижения (например, вокруг оконных проемов).

Повышение теплоизолирующих параметров ограждающих конструкций, качественная теплозащита оконных проемов, корректное формирование воздушной прослойки, обеспечивающей регенерацию тепловой энергии, исключение и минимизация появления мостиков холода, является одним из главных направлений энергосбережения, которое позволяет сократить до 30 % энергопотерь в зданиях, как при новом строительстве, так и при реконструкции.

Важным элементом достижения энергоэффективности является не только применяемый теплоизоляционный материал, но и оптимизация его толщины в целом, и в частности при получении готовых теплоизоляционных плит в сочетании органических и неорганических материалов. Благодаря конструктивному разделению функций защиты от воздействия окружающей среды и теплоизоляции, вентилируемые фасады с воздушным зазором можно отнести к наиболее надежным с точки зрения строительной технологии с длительным сроком эксплуатации.

Эффективная вентиляция воздушного зазора между фасадной системой и теплоизоляцией играет важную роль в предотвращении образования конденсата и обеспечении долговечности конструкции. Варианты улучшения включают:

- проектирование более эффективной системы вентиляции: использование специальных вентиляционных элементов, таких как решетки и каналы, способствует оптимальной циркуляции воздуха и отводу влаги;

- оптимизация размеров и расположения вентиляционных отверстий: правильные расчеты и расположение вентиляционных отверстий обеспечивают равномерное распределение воздуха по всему объему воздушного зазора.

Возможность использования теплоизоляционных материалов различной толщины позволяет существенно сэкономить на отопительных расходах, а также снизить выброс углекислого газа в окружающую среду.

Особенности конструкции навесных фасадов с воздушным зазором позволяют варьировать ширину теплоизоляционных

материалов.

Помимо этого, параметры минеральных изоляционных материалов выбираются соответственно структуре и поверхности внешней стены, что гарантирует защиту от попадания холодного наружного воздуха на изоляционный слой.

Повышение прочности и устойчивости конструкций НВФ способствует их долговечности и надежности, и возможно за счет:

- применения более прочных материалов для каркаса фасада с использованием высокопрочной стали или алюминиевых сплавов, что увеличивает жесткость и устойчивость каркаса к ветровым нагрузкам. Однако, применение алюминиевых направляющих помимо очевидных достоинств имеет значительный недостаток – малую огнестойкость (при температуре 250–300 °С теряется прочность конструкции, вследствие чего может произойти обрушение);

- увеличения сечения элементов каркаса, так как более массивные элементы каркаса обеспечивают лучшую устойчивость и распределение нагрузок;

- установки дополнительных крепежных элементов, усиливающих связи между каркасом и несущим основанием и повышающих общую прочность конструкции.

Герметичность соединений между элементами фасада важна для предотвращения проникновения влаги и обеспечения долговечности конструкции, что достигается использованием современных герметиков и уплотнителей с применением высококачественных материалов; применением специальных профилей и деталей, специально предназначенных для герметичного соединения панелей, способствующих повышению общей герметичности фасада.

Упрощение процесса монтажа панелей и других компонентов фасада способствует снижению времени и затрат на установку. При этом возможны следующие улучшения:

- разработка более удобных методов монтажа: использование инновационных методов и приспособлений упрощает процесс монтажа и повышает его точность;

- применение специализированных инструментов: специальные инструменты и приспособления облегчают установку панелей и других элементов, сокращая время монтажа.

Важным аспектом при проектировании и монтаже НВФ является обеспечение пожаробезопасности, возможное за счет:

- применения огнестойких материалов для теплоизоляции и других элементов фасада, соответствующих требованиям пожарной безопасности, снижающих риск распространения огня;

- соблюдения требований пожарной безопасности при проектировании и монтаже системы.

Совмещение НВФ с другими системами здания способствует повышению энергоэффективности и комфорта. Возможные следующие интеграции:

- совмещение с системами «Terracotta Rainscreen», защищающих от дождя и других атмосферных воздействий, что повышает долговечность фасада;

- интеграция с системами звукоизоляции с улучшением звукоизоляционных свойств фасада, что способствует созданию более комфортного внутреннего пространства;

- сочетание с системами солнечной энергетики за счет использования солнечных панелей на фасаде способствует генерации электроэнергии и снижению энергопотребления здания.

Так все больше на рынке зарубежных стран применяется система «Terracotta Rainscreen». В отличие от традиционных стен, которые пытаются избежать проникновения воды, сосредотачиваясь на устранении отверстий, система «Terracotta Rainscreen» представляет собой вентилируемый фасад, основанный на принципе дождевого экрана. Полная система облицовки из терракоты включает в себя панели с открытыми швами, несущую систему, вентилируемую полость и внутренний слой (утеплитель и пароизоляцию). Открытые швы внахлест позволяют воздуху циркулировать за терракотовой облицовкой, помогая балансировать давление воздуха в полости, приближаясь к выравниванию давления внутри и снаружи. Кроме того, несущая система включает уплотнители для вертикальных швов, чтобы предотвратить проникновение дождевой воды и способствовать ее отводу из полости.

Большая часть дождя и снега, приносимых ветром, не могут попасть в полость благодаря перекрывающимся швам и отсутствию разницы давлений. Небольшое количество воды, проникающее через швы, может испаряться во время воздушного потока или стекать через дренажные отверстия.

Вентилируемая система «Terracotta Rainscreen» – это сочетание высококачественной терракотовой облицовки и стеновой системы с выравниванием давления, обладающая значительными преимуществами этого передового фасадного решения [6].

Разнообразие цветовых решений, фактур и форм панелей позволяет создать уникальный внешний вид фасада.

Интеграция декоративных элементов, таких как, карнизы, колонны, пилястры и другие декоративные элементы придают фасаду архитектурную выразительность.

Применение материалов с изменяемыми свойствами позволяет адаптировать фасад к внешним условиям и повысить энергоэффективность. Фотохромные материалы меняют свои свойства в зависимости от интенсивности солнечного света, адаптируясь к изменяющимся условиям освещения. Термохромные материалы реагируют на изменения температуры, изменяя свои свойства для оптимизации теплообмена.

Разработка модульных систем НВФ с возможностью быстрой замены отдельных элементов упрощает процесс ремонта и обновления фасада.

А стандартизация размеров и форм панелей, унификация размеров и форм способствует упрощению производства и монтажа, а также снижению затрат на запасные части.

Улучшение конструктивных особенностей НВФ требует комплексного подхода, учитывающего различные аспекты: от теплоизоляции и вентиляции до эстетических качеств и интеграции с другими системами здания. Применение современных материалов, технологий и подходов позволяет создать эффективные, долговечные и эстетически привлекательные фасады, соответствующие высоким требованиям современного строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грановский, А.В. Современные вентилируемые фасадные системы. Проблемы и решения / А.В. Грановский, Д.А. Киселев //Кровля. Фасады. Изоляция. – 2007

2. Жуков, А.Д. Системы вентилируемых фасадов / А.Д. Жуков // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». - 2012. - № 1.

3. Сулейманова Л.А., Андрийчук М.В. Нанотехнологии при создании вентилируемых фасадов зданий //XI Международный студенческий строительный форум -2024: сб. докл.: -Белгород: изд-во БГТУ, 2024 – 438 с.

4. Сулейманова Л.А., Малокова М.В., Погорелова И.А., Корякина А.А. Формирование пространственной среды с учетом колористики //Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 62–66.

5. Сулейманова Л.А., Fang Jin., Баклаженко Е.В., Ладик Е.И. Современные материалы и технологии отделки фасадов при реконструкции и реновации жилого фонда //Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 21-32.

6. Терракотовая Вентилируемая Панель LOPO China. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lopochina.ru/terracotta-rainscreen.html>

Бородачев Д.М., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Чаккиев И.М.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Строительство магистральных трубопроводов часто сопряжено с пересечением водных объектов. Это создает различные проблемы, требующие уникальных решений для обеспечения бесперебойных монтажных работ [1].

На протяжении всей длины прокладки магистральных трубопроводов имеется множество переходов через водные преграды, характеризующихся различными гидрологическими особенностями и типами развития русла рек. Переходы трубопроводов через небольшие водные преграды имеют следующие отличительные особенности: отсутствие запасных трубных ветвей, недостаточность инженерных изысканий при их проектировании, осуществление строительства в основном без использования подводных технических средств, зачастую слабый контроль за состоянием переходов со стороны организаций, выполняющих работы. Кроме того, переходы через мелкие водные преграды составляют подавляющее большинство в общем количестве эксплуатируемых подводных переходов и в значительной степени определяют надежность магистральных трубопроводов [2].

Обобщая вышеизложенное, очевидным является тот факт, что строительство трубопроводов через реки, ручьи или другие водоемы сопряжено с рядом сложностей:

- охрана окружающей среды: защита водных экосистем от нарушения осадочного слоя и загрязнения;
- управление водными ресурсами: поддержание сухости рабочей зоны при одновременном контроле уровня воды;
- безопасность: обеспечение безопасности работников в потенциально опасных условиях;
- соблюдение нормативных требований: соблюдение строгих государственных экологических и строительных норм [3].

Обозначенные факторы свидетельствуют о необходимости разработки действенных и эффективных мер, которые позволят оптимизировать ключевые процессы, связанные со строительством подводных переходов магистральных трубопроводов, что подтверждает актуальность темы данной статьи.

Технологии и методы создания сухой рабочей зоны в процессе строительства переходов через водные преграды описывают в своих трудах Исламов И.Р., Шарафутдинов З.З., Капаев Р.А., Рязанова Г.Н., Чурилина Ю.Ю.

Различные методы прокладки переходов магистральных трубопроводов с учетом максимальной глубины воды, необходимости поддержания судоходства, скорости и направления ветра, силы волн, изучают Аристархов А.Ю., Скуридин Н.Н., Груздев В.А., Россеев Н.Н., Волинец И.Г., Фаут С.В., Литвинюк А.Н.

Однако, несмотря на имеющиеся публикации и наработки, некоторые моменты требуют уточнения. Например, в дальнейшем развитии нуждаются методы и технологии устранения оголенных участков и провисаний подводных трубопроводных переходов. Также отдельного внимания заслуживают перспективы использования геосинтетических материалов при балластировке трубопроводов.

Таким образом, цель статьи заключается в проведении исследования направлений совершенствования организационно-технологических решений при выборе рационального метода строительства подводных переходов магистральных трубопроводов.

На сегодняшний день наработан достаточно широкий спектр методов прокладки подводных трубопроводных переходов, который включает в себя траншейные методы, такие как вспашка, струйная прокладка или механическая резка для закапывания, и бестраншейные методы, такие как горизонтально-направленное бурение или микротоннелирование [4]. Для морских переходов обычно используются методы S-lay и J-lay, при которых трубоукладочное судно устанавливает трубу, а для более коротких расстояний могут также использоваться методы тяги/буксировки. Выбор оптимального метода зависит от таких факторов, как глубина воды, состояние морского дна и длина трубопровода [5]. Принимая во внимание тот факт, что в рамках одной статьи описать все методы не представляется возможным. В табл. 1 описаны результаты сравнения различных методов устройства подводных переходов.

Таблица 1

**Сравнение методов устройства подводных переходов
магистральных трубопроводов: технологический аспект**

Метод	Особенности и описание технологии	Области применения	Ключевые ограничения
1	2	3	4
Горизонтальное направленное бурение (ГНБ)	<p>1. Управляемый: траектория бурения полностью контролируется с поверхности с помощью зонда.</p> <p>2. Два этапа: сначала бурится пилотная скважина, затем она расширяется, и в нее протягивается готовый трубопровод.</p> <p>3. Буровой раствор: используется раствор для выноса грунта, стабилизации стенок скважины и охлаждения инструмента.</p>	<p>1. Протяженные переходы: пересечение широких рек, заливов, морских проливов (длина до 2-3 км и более).</p> <p>2. Экологически чувствительные зоны: заповедники, парки, где нельзя нарушать ландшафт.</p> <p>3. Глубокое заложение: обход существующих коммуникаций или сложной геологии.</p>	<p>1. Требуются большие рабочие площадки для входа и выхода буровой установки и размещения труб.</p> <p>2. Ограничения по грунтам: сложно работать в крупнообломочных грунтах (валуны) и нестабильных плывунах.</p> <p>3. Высокий риск «гидроразрыва» в слабых грунтах.</p> <p>4. Высокая стоимость оборудования.</p>
Микротоннелирование	<p>1. Высокая точность: используется проходческий микроцит, управляемый дистанционно.</p> <p>2. Продавливание секций: щит движется вперед, а за ним с помощью мощной домкратной станции из стартового котлована продавливаются короткие секции труб (бетонные, стальные, стеклопластиковые).</p> <p>3. Удаление грунта: разработанный грунт удаляется из забоя на поверхность</p>	<p>1. Городские условия: идеально для прокладки под плотной застройкой и водными каналами в городах.</p> <p>2. Самотечные коллекторы: незаменим там, где требуется выдержать точный, часто минимальный уклон.</p> <p>3. Сложная геология: эффективен в водонасыщенных, сыпучих и нестабильных грунтах, где ГНБ не справится.</p>	<p>1. Очень высокая стоимость: самый дорогой из бестраншейных методов.</p> <p>2. Требуются глубокие и крупные шахты: необходимы массивные стартовый и приемный котлованы, что усложняет работы.</p> <p>3. Скорость: относительно медленная скорость проходки по сравнению с ГНБ.</p> <p>4. Сложности при встрече с непредвиденными крупными валунами.</p>
Прокол (горизонтальное бурение / шнековое бурение)	<p>1. Полууправляемый: метод имеет ограниченные возможности управления траекторией.</p> <p>2. Разработка грунта: внутрь стального футляра (трубы) помещается шнек, который вращается и удаляет грунт из забоя.</p> <p>3. Труба при этом проталкивается домкратами.</p> <p>4. На передний конец трубы-футляра часто наваривают конусообразный «нож» для облегчения входа в грунт.</p>	<p>1. Короткие переходы: пересечение небольших рек, ручьев, каналов, а также дорог и ж/д путей.</p> <p>2. Прокладка футляров: часто используется для создания защитного стального футляра, в который потом прокладывается основная рабочая труба.</p> <p>3. Связанные грунты: лучше всего работает в глинах, суглинках, плотном песке.</p>	<p>1. Ограниченная длина: обычно не более 80-100 м.</p> <p>2. Низкая точность: высокий риск отклонения от траектории, особенно на большой длине.</p> <p>3. Ограничения по грунтам: неприменим в скальных породах, плывунах и текучих грунтах.</p> <p>4. Требуется стартовый котлован.</p>

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Продавливание	1. Самый простой метод, но траектория практически не контролируется. 2. Ударное воздействие: стальная труба (футляр) с открытым концом забивается в грунт с помощью мощного пневматического молота (пневмопробойника) или гидравлических домкратов.	1. Короткие переходы: небольшие каналы, ручьи, мелиоративные канавы. 2. Нестабильные грунты: один из лучших методов для плывунов и водонасыщенных песков, так как грунт не извлекается в процессе, что предотвращает обрушение.	1. Только прямая траектория: полное отсутствие возможности управления. 2. Только стальные трубы: метод не работает с бетонными или пластиковыми трубами. 3. Сильные вибрации: Ограниченная длина: обычно до 40-60 м.

Табл. 1 свидетельствует о том, что не существует одного универсального метода, эффективного для строительства всех подводных переходов. По мнению автора, выбор технологии зависит от трех ключевых факторов: длины перехода, диаметра трубы и необходимости соблюдать точный уклон. Кроме того, оценивая достоинства и недостатки того или иного метода прокладки переходов магистральных трубопроводов, необходимо уделять внимание также организационно-экономическим характеристикам, представленным в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение организационно-экономических показателей методов устройства подводных переходов магистральных трубопроводов

Показатель	ГНБ	Микротоннелирование	Прокол / продавливание
1	2	3	4
Ориентировочная стоимость	Высокая. Зависит от длины, диаметра и геологии.	Очень высокая. Самый дорогой метод из-за оборудования и шахт.	Низкая / Средняя. Наиболее бюджетный вариант для простых задач.
Требования к площадке	Нужны 2 большие площадки (для входа установки и для выхода/сварки труб).	Нужны 2 глубокие шахты (стартовая и приемная). Строительство шахт – долгий и дорогой процесс.	Нужны 2 котлована (стартовый и приемный) и упорная стенка для домкратов.
Средняя скорость работ	Высокая. Быстрая проходка после этапа мобилизации.	Низкая. Медленный, методичный процесс продавливания секций.	Средняя. Быстро на коротких дистанциях.
Ключевой персонал	Высокая квалификация. Критически важен оператор локационной системы.	Очень высокая квалификация. Нужен узкоспециализированный оператор щита.	Средняя квалификация. Опытный оператор гидравлики / пневматики.

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Главный риск / ограничение	Риск выхода бурового раствора на поверхность; сложно в скалах и валунах.	Остановка щита при встрече с непредвиденным препятствием (валуном); высокая цена простоя.	Только по прямой траектории (неуправляемый); ограниченная длина (обычно до 80-100 м).

Подводя итоги, отметим, что выбор рационального метода строительства подводного перехода магистрального трубопровода является многофакторной задачей. В ходе принятия решений целесообразно сосредоточиться на минимизации рисков и повышении контроля на всех этапах. Практические рекомендации сводятся к следующему:

1. Обязательное применение углубленных геофизических изысканий на этапе планирования для верификации грунтов.
2. Внедрение систем мониторинга в реальном времени в процессе строительства и создание цифровых исполнительных моделей для контроля качества.
3. Обязательное использование систем рециклинга буровых растворов для снижения экологического ущерба.
4. Применение современных геосинтетических материалов для балластировки и защиты трубопровода в сложных русловых условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сериков Д.Ю. Об особенностях сооружения подводных переходов магистральных трубопроводов: выбор технологии и используемое оборудование // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2022. № 2 (350). С. 58-67.
2. Чурилина Ю.Ю. Анализ причин возникновения повреждений подводных переходов магистральных нефтепроводов // In Situ. 2022. № 3. С. 15-18.
3. Щелудяков А.М. Контроль целостности труб подводных переходов на завершающем этапе строительства // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2023. № 3. С. 85-92.
4. Вафин Д.Р. Скорости щитовой проходки трубопроводом в процессе строительства подводных переходов // Газовая промышленность. 2022. № 6 (834). С. 42-50.
5. Емельянов А.В. Современные технические решения по балластировке подводных переходов, сооружаемых в условиях Арктической зоны РФ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2025. № 1. С. 32-41.

Быстров Д.В., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Розанцева Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МОНОЛИТНЫХ РАБОТ: ОТ ВИЗУАЛЬНОГО ОСМОТРА К ЦИФРОВОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ

В статье представлены результаты комплексного исследования современных подходов к контролю качества монолитных железобетонных конструкций. Работа посвящена актуальной проблеме перехода от традиционных методов визуального осмотра к передовым технологиям цифрового мониторинга и прогнозирования. На основе анализа российского и международного опыта за период 2020–2024 гг. разработана и научно обоснована комплексная система контроля, интегрирующая проверенные методы с инновационными цифровыми решениями. Особое внимание уделено практическим аспектам внедрения BIM-моделирования, IoT-датчиков, лазерного сканирования и систем искусственного интеллекта в практику строительного контроля. В исследовании детально проанализированы характеристики современного оборудования для лазерного сканирования, включая наземные, мобильные и ручные сканеры, и доказано их соответствие требованиям СП 63.13330.2018. Показано, что предложенные решения позволяют не только оперативно выявлять, но и точно прогнозировать возникновение дефектов на ранних стадиях, снижая затраты на переделки на 25–30 % и сокращая сроки контроля на 35–40 %. Результаты исследования основаны на анализе данных мониторинга реальных строительных объектов и актуальных научных публикаций, что обеспечивает высокую практическую значимость работы для современной строительной отрасли.

Современное монолитное строительство характеризуется возрастающими требованиями к качеству и безопасности конструкций. Традиционные методы контроля, основанные на выборочных проверках и визуальном осмотре, не обеспечивают необходимой полноты и объективности оценки, особенно в условиях массового строительства и сложных архитектурных форм [1]. По данным исследований, до 65 % дефектов в монолитных конструкциях возникают из-за недостатков системы контроля на этапах бетонирования и твердения [2].

Объектом исследования является процесс контроля качества при производстве монолитных железобетонных работ. Предмет исследования - современные цифровые методы повышения точности и эффективности контроля качества. Цель исследования - разработка концепции комплексной системы превентивного контроля качества монолитных работ.

Исследование проводилось с использованием комплекса взаимодополняющих методов, включая сравнительный анализ научной литературы за период 2020–2024 гг., систематизацию данных практического мониторинга строительных объектов, математическое моделирование процессов контроля качества, а также экспертные оценки внедрения цифровых технологий. Особое внимание уделялось анализу соответствия предлагаемых решений требованиям актуальных нормативных документов, в частности СП 63.13330.2018.

Современные системы лазерного сканирования представляют собой высокотехнологичные комплексы, способные создавать детальные трехмерные модели строительных объектов с точностью до миллиметров. Наземные лазерные сканеры (такие как FARO Focus Premium) работают по принципу фазового или импульсного измерения расстояний, последовательно сканируя пространство вокруг себя с помощью вращающейся лазерной головки. Эти устройства генерируют плотное облако точек с точностью до ± 2 мм, захватывая до 2 млн точек в секунду. Важным преимуществом является возможность работы на больших расстояниях (до 350 м) без потери точности, что особенно ценно при обследовании масштабных объектов.

Мобильные сканирующие системы, включая Leica BLK360, используют передовую технологию SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), которая позволяет выполнять сканирование в движении. Эти компактные устройства сочетают в себе лазерный сканер, инерциальную измерительную систему и высококачественные камеры, что обеспечивает не только сбор геометрических данных, но и создание фотореалистичных текстур. Мобильность таких систем позволяет оперативно обследовать сложные пространства, включая замкнутые помещения и объекты с ограниченным доступом.

Ручные сканеры типа GeoSLAM ZEB Horizon предлагают уникальные возможности для мониторинга обширных территорий и сложных архитектурных форм. Их работа основана на технологии одновременной локализации и построения карты, что позволяет создавать точные 3D-модели без необходимости использования стационарных контрольных точек. Эти устройства особенно

эффективны при обследовании объектов с многоуровневой структурой и сложной геометрией.

Ключевые преимущества современных систем лазерного сканирования включают не только высокую скорость съемки и автоматизацию процесса измерений, но и возможность интеграции с BIM-платформами, что позволяет осуществлять автоматическое сравнение фактических параметров с проектными значениями. Кроме того, современное программное обеспечение обеспечивает автоматизированную обработку данных, включая фильтрацию шумов, классификацию точек и векторизацию объектов, значительно сокращая время на подготовку отчетной документации.

Для контроля геометрических параметров монолитных конструкций в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 применяется следующее оборудование (табл.1):

Таблица 1

Характеристики лазерных сканеров для контроля качества

Тип оборудования	Точность измерений	Область применения	Соответствие СП63.13330
Наземные лазерные сканеры (FARO Focus Premium)	± 2 мм	Контроль геометрии конструкций, исполнительная съемка	Соответствует максимальным отклонениям, допустимым.
Мобильные сканирующие системы (Leica BLK 360)	± 6 мм на 10 м	Операционный контроль опалубки и арматуры	Соответствует предъявляемым требованиям по точности
Ручные сканеры (GeoSLAM ZEB Horizon)	$\pm 10-30$ мм	Мониторинг больших площадей	Возможен в качестве предварительного контроля

Применение лазерного сканирования обеспечивает принципиально новый уровень контроля качества монолитных работ. Технология позволяет выполнять 100% охват контролируемых поверхностей с фиксацией миллионов точек измерений, что исключает субъективизм выборочных замеров. Высокая точность оборудования ($\pm 2-6$ мм) гарантирует соответствие требованиям СП 63.13330.2018 к допустимым отклонениям геометрических параметров. Цифровые двойники конструкций, созданные на основе облаков точек, служат объективной основой для сравнения с проектными значениями в BIM-моделях и выявления малейших несоответствий на ранних стадиях строительства [7].

Лазерное сканирование обеспечивает [7]:

- полный охват контролируемых поверхностей;
- высокую точность измерений геометрических параметров;

- объективность данных за счет исключения человеческого фактора;
- возможность сравнения с проектными значениями в BIM-моделях.

Традиционные методы контроля демонстрируют системную неэффективность, обусловленную ограниченным охватом и субъективностью визуальной оценки (см. табл. 2). Основные проблемы включают невозможность выявления скрытых дефектов – раковин и пустот (25–30 % от общего числа), возникающих при нарушении технологии уплотнения бетонной смеси и приводящих к снижению несущей способности. Усадочные трещины (20–25 %) образуются при несоблюдении режимов твердения и температурно-влажностного режима, создавая потенциальные пути проникновения влаги. Отклонения геометрических параметров (15–20 %) накапливаются из-за неточностей установки опалубки и могут нарушать проектное положение конструкций. Все эти дефекты требуют дорогостоящего устранения на поздних стадиях строительства [3].

Таблица 2

Распределение дефектов по типам и стадиям возникновения

Тип дефекта	Доля дефекта в общем количестве, в %	Стадия возникновения дефекта	Вероятностная сложность устранения
Раковины и пустотные места, пропуски в бетонировании	25-30	Уплотнение при укладке	Высокая вероятность
Усадочные и возникающие в процессе набора прочности трещины	20-25	В процессе твердения	Средняя вероятность
Возможные отклонения от геометрических параметров	15-20	Геодезические работы, вынос осей, установка опалубки	Низкая вероятность

Внедрение систем лазерного сканирования демонстрирует значительный экономический эффект, подтвержденный исследованиями [1]. Сокращение затрат на 30–40 % достигается за счет автоматизации процессов контроля и уменьшения трудозатрат. Снижение времени измерений на 50–60 % обусловлено высокой скоростью сканирования и автоматической обработкой данных. Уменьшение количества ошибок на 25–35 % связано с исключением человеческого фактора и переходом к объективным цифровым измерениям.

Дополнительная экономия формируется за счет предотвращения дорогостоящих (costly) переделок благодаря раннему выявлению

отклонений. Термин «costly» в данном контексте подразумевает не только прямые финансовые затраты на исправление дефектов, но и сопутствующие издержки, включая простой оборудования, удорожание проекта к срыву сроков, возможные штрафные санкции и репутационные потери. Исследования показывают, что стоимость устранения дефектов на этапе эксплуатации в 5–7 раз превышает затраты на их своевременное предупреждение с помощью современных методов контроля [4].

По данным исследований [1], внедрение систем лазерного сканирования позволяет (см.табл. 3):

- сократить затраты на контроль на 30–40 %;
- уменьшить время проведения измерений на 50–60 %;
- снизить количество ошибок измерений на 25–35 %.

Таблица 3

Сравнительные показатели эффективности

Показатели затрат	Традиционные методы контроля, %	Применение цифровой системы, %	Возможность улучшения, и снижения ошибок
Затраты в процессе контроля	100	70	-30 %
Затраты, связанные с количеством дефектов	100	50	-50 % (от цифрового результата)
Временные затраты на проведение контроля	100	60	-40 % (от цифрового результата)

Практическая реализация системы контроля на основе лазерного сканирования представляет собой многоэтапный процесс (см. рис. 1). На первом этапе выполняется сканирование объекта с созданием детального облака точек, отражающего фактическое состояние конструкций. Затем осуществляется построение точной цифровой модели на основе полученных данных. Критически важным является этап сравнения с проектной BIM-моделью для выявления отклонений геометрических параметров. Автоматизированное выявление несоответствий позволяет идентифицировать даже минимальные отклонения. Завершающий этап включает формирование комплексной отчетности с количественной оценкой выявленных дефектов [5].

Система контроля на основе лазерного сканирования включает [5]:

- сканирование объекта;
- построение облака точек;
- сравнение с проектной моделью;
- выявление отклонений;
- формирование отчетности.

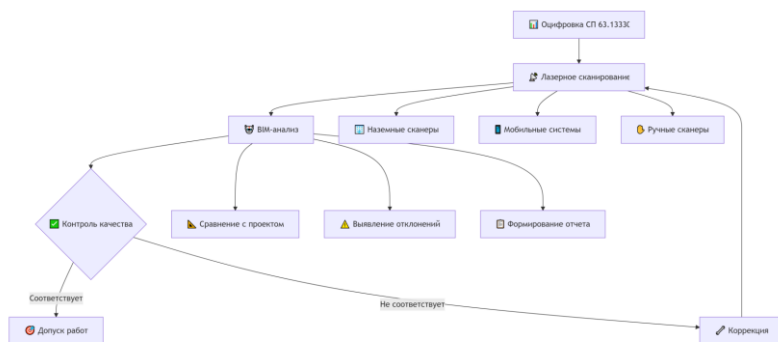


Рис. 1. Схема контроля геометрических параметров

Данная методика полностью соответствует требованиям СП 63.13330.2018 к контролю геометрических параметров и обеспечивает необходимую точность измерений.

Проведенное исследование демонстрирует неоспоримые преимущества перехода от традиционных методов визуального контроля к комплексной системе цифрового мониторинга и прогнозирования качества монолитных работ. Разработанная методология, основанная на интеграции лазерного сканирования, ВМ-моделирования и современных средств неразрушающего контроля, позволяет обеспечить 100% охват обследуемых конструкций с высокой точностью измерений. Внедрение предложенных решений обеспечивает не только выявление, но и прогнозирование дефектов на ранних стадиях строительства, что позволяет предотвращать costly переделки и сокращать сроки контроля на 35-40 %. Доказанная экономическая эффективность и соответствие строгим требованиям нормативных документов создают прочную основу для широкого внедрения цифровых технологий контроля качества в практику монолитного строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ван, Р.; Чжан, Д.; Цю, Х.; Сан, Д. Интеллектуальный метод контроля качества установки арматуры в железобетонных плитах на основе обработки облака точек и семантической сегментации. Здания 2024, 14, 3693. <https://doi.org/10.3390/buildings14113693>
2. Топчий Д., Болотова А. Изучение особенностей технологии монолитного строительства на основе системного анализа 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 603 052004 DOI 10.1088/1757-899X/603/5/052004
3. Жариков И.С., Лакетич А., Лакетич Н. Влияние качества бетонных работ на прочность бетона монолитных конструкций //

Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 51 – 58. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-1-51-58

4. Айрат Хузин и Алена Шаравина, Пути повышения качества монолитных железобетонных конструкций 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 890 012127 DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012127

5. Sacks R, Brilakis I, Pikas E, Xie HS, Girolami M. Construction with digital twin information systems. Data-Centric Engineering. 2020;1: e14. doi:10.1017/dce.2020.16

6. Топчий Д. и др. Анализ методов и средств контроля качества монолитных железобетонных конструкций, IOP Conf. 2021 г. Сер.: Матер. наук. англ. 1079 042019 DOI 10.1088/1757-899X/1079/4/042019

7. Лapidус А., Хубаев Т., Хубаев А. Разработка программного обеспечения для неразрушающего контроля монолитных конструкций в жилищном строительстве, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809003>

8. Kaustav Sarkar, Amit Shiuly, Krishna Gopal Dhal, Revolutionizing concrete analysis: An in-depth survey of AI-powered insights with image-centric approaches on comprehensive quality control, advanced crack detection and concrete property exploration, Construction and Building Materials, Volume 411, 2024, 134212, ISSN 0950-0618, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823039302>)

Дербенев А.С., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Розанцева Н.В.**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

РАЗВИТИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ СТЕСНЕННОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ООО «КЛЮЧ»

Последнее время в нашей стране все большую популярность начинает набирать индивидуальное жилищное строительство, несмотря на мощную урбанизацию и рост населения городского населения, люди начинают стремиться жить в личном комфортном пространстве частного жилого дома. Индивидуальное жилищное строительство позволяет обеспечить население качественным жильем, повысить комфорт проживания и создать благоприятные условия для социальной среды. Весь антагонизм ситуации заключается в том, что непрерывное развитие городских поселений требует эффективного освоения

территорий, особенно в районах с плотной застройкой, что становится ключевой задачей градостроительства и архитектуры.

Цели программы строительства индивидуального жилья направлены на удовлетворение потребностей граждан регионов Российской Федерации и экономических интересов собственников земельных участков под ИЖС и несут в себе: привлечение новых ответственных исполнителей по строительству комплексных застроек под ИЖС, увеличение объема инвестиций, проектирование большего числа новых объектов ИЖС.

Общество с ограниченной ответственностью ООО «Ключ» (ООО «Ключ») является действующей организацией, которая находится на рынке уже более 30 лет и является ярким примером успешной реализации проекта индивидуального жилищного строительства в стесненных городских условиях малых городов Ленинградской и Московских областей (рис. 1). Анализ опыта компании позволяет выявить особенности, проблемы и перспективы развития подобного рода строительства, предложить рекомендации для повышения эффективности проектирования и внедрения инновационных решений.



Рис.1. Пример строительства объекта компанией ООО «Ключ»

Чаще всего строительство осуществляется в Ленинградской области, соответственно, Компания идет в ногу со временем и реализует программу регионов РФ.

Цели исследования – изучение особенностей и проблем развития индивидуального жилищного строительства в условиях стесненной городской застройки на примере деятельности компании ООО «Ключ».

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. определить ключевые факторы препятствий, возникающих в процессе строительства;
2. изучить теоретико-методологические основы и нормативную базу индивидуального жилищного строительства в городе.

3. выявить специфику условий стесненной городской застройки и ее влияние на проектирование индивидуальных жилых домов.

4. оценить опыт реализации проектов индивидуальным жилищным строительством ООО «Ключ».

Объектом исследования выступает процесс индивидуального жилищного строительства в условиях стесненной городской застройки.

Предметом исследования являются механизмы и технологии организации индивидуального жилищного строительства, реализуемые компанией ООО «Ключ», а также выявленные проблемы и возможные пути их решения. Индивидуальное жилищное строительство – это самостоятельное возведение частных домов гражданами на выделенном участке земли для личного проживания семьи. Индивидуальное жилищное строительство (ИЖС) в малых городах базируется на сочетании законодательных норм и региональных особенностей. Теоретической основой выступают принципы устойчивого развития территорий, рационального землепользования и учета местных традиций архитектуры. Включение частных жилых домов в застройку даже небольших городов связано с несколькими объективными трудностями и проблемами, которые требуют комплексного подхода и учета множества факторов. Рассмотрим основные причины:

Нормативно-правовые ограничения: одним из главных препятствий является несоответствие нормативных требований современной практике строительства. Например, действующие строительные нормы зачастую разрабатывались для массовой типовой застройки прошлых десятилетий и плохо адаптированы к условиям индивидуальной жилой застройки. Особенности градостроительной политики в условиях стесненной застройки для индивидуального жилищного строительства заключаются в соблюдении нормативных расстояний между зданиями, бережном сохранении исторической среды, обеспечении доступности коммунальных услуг и оптимизации пространственных решений. Требования к минимальному расстоянию между домами не менее 2 м с каждой стороны между крайними уступами фундаментов, а от деревянных зданий до 10 м, практически не адаптированы к площади участка, плотности застройки часто приводят к конфликтам между владельцами соседних участков и создают трудности при согласовании проектов;

Архитектурные и эстетические требования. Индивидуальные жилые дома существенно отличаются друг от друга архитектурно, стилистически и функционально, что создает визуальную неоднородность застройки, которая иногда воспринимается негативно жителями города. Городские власти нередко сталкиваются с проблемой сохранения общего облика улиц и районов, особенно в исторических центрах городов;

Проблемы инженерной инфраструктуры. Подключение новых частных домов к городским коммуникациям (водоснабжение, водоотведение, газификация, электроснабжение, теплоснабжение) представляет собой отдельную проблему. Мало того, что часто сети изношены, недостаточно мощны или расположены неудобно относительно вновь возводимых строений, так еще и рассчитаны на многоквартирные жилые дома и врезка маломощных труб, требует значительных затрат и согласования с коммунальными службами;

Ограниченность земельных ресурсов. Даже в малонаселенных городах земли, пригодные для частного строительства, могут оказаться ограниченными из-за наличия охраняемых зон (исторических памятников, зеленых насаждений, рекреационных зон). Поэтому частные владельцы вынуждены искать участки в труднодоступных местах либо приобретать землю на окраинах города, что увеличивает затраты на инфраструктуру и снижает привлекательность жилья.

Социальные конфликты и соседские отношения. Возведение частных домов в плотной городской застройке, лишает и так ограниченных в свободных пригодных для отдыха горожан площадях, что нередко вызывает недовольство, когда новый участок кажется источником мусора и снижения уровня приватности. Такие ситуации осложняют получение разрешений на строительство и ухудшают атмосферу внутри сообщества жителей района. Многие застройщики допускают нарушения, непреднамеренно ухудшая ситуацию с качеством строительства и созданием комфортной среды обитания. Участие граждан в обсуждении градостроительных планов и проектов регулируемое законами, должно обеспечить открытость процесса принятия решений и возможность независимой оценки проектов жителями. В ходе проектирования и строительства особое внимание должно уделяться сохранению целостности окружающих построек и минимизации рисков для экологии и инфраструктуры, что должно контролироваться различными государственными организациями и комиссиями.

Таким образом, включение частных жилых домов в застройку малых городов требует тщательной проработки каждого этапа планирования и строительства, координации действий различных участников процесса, разработки механизмов адаптации существующих строительных норм и совершенствования подходов к управлению земельными ресурсами.

Методологически процесс ИЖС включает выбор участка, получение разрешительной документации, проектирование дома и последующую реализацию проекта. Нормативная база ИЖС формируется федеральными актами, такими как Земельный кодекс РФ, Градостроительный кодекс РФ, Федеральный закон № 218-ФЗ «О государственной регистрации

недвижимости», Санитарно-эпидемиологические правила и нормы (СанПиН). Региональные законы регулируют конкретные вопросы выделения земли, установления ограничений по высоте и плотности застройки, а также определяют порядок подключения жилья к коммунальным услугам.

Кроме того, важную роль играют местные органы власти, принимающие собственные постановления и регламенты, направленные на поддержание уникальности облика городов и повышение качества жилой среды.

Городская среда с плотной застройкой представляет собой ситуацию, когда новые строительные и ремонтные работы оказывают влияние как друг на друга, так и на соседствующие постройки, инженерные сети и прочие инфраструктурные элементы. Такая обстановка зачастую характеризуется активным автомобильным и пешим трафиком поблизости от проводимых мероприятий, вследствие чего возникает потребность применять специализированные технологии и подходы к выполнению строительных операций.

Стесненные городские условия требуют особых подходов к строительству и ремонту^{1,2} Здесь важны три фактора: наличие активного транспортного потока рядом с рабочей площадкой, сложная система подземных коммуникаций и близкое расположение жилых строений. Строительство проводится небольшими участками («захватками»), обеспечивая своевременное восстановление дорог и озеленение. Прокладка новых коммуникаций ведется преимущественно скрытыми методами, чтобы минимизировать воздействие на транспорт и инфраструктуру. Безопасность жителей и сохранность зеленых зон обеспечиваются особыми мерами защиты и согласования с соответствующими службами. На площадках используются компактные машины с низким уровнем шума и загрязняющих веществ. Строго соблюдаются нормы хранения стройматериалов и механизмы утилизации грунта. Для предотвращения аварий предусмотрены специальные системы контроля, ограничивающие работу техники в опасных зонах. Все это направлено на сохранение комфортной городской среды даже в условиях плотной застройки.

¹ СП 42.13330.2016 Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001: <https://tiflocentre.ru/documents/sp42-13330-2016.php>

² ТР 206–09 Технические рекомендации по проектированию и производству работ по устройству ограждающих конструкций котлованов в стесненных условиях существующей городской застройки в г.Москве: <https://docs.cntd.ru/document/898902793>

Основные этапы градостроительной деятельности включают подготовку предпроектной документации, разработку проектной документации и организацию строительства, каждый этап сопровождается строгими регламентами и требованиями, направленными на обеспечение безопасности и соблюдения законов. Эти процедуры охватывают широкий круг вопросов, начиная от технических аспектов строительства и заканчивая охраной культурного наследия и защитой окружающей среды.

Эти этапы должны включать и такие важные вехи как: разработка проектной документации и графиков производства работ, с последующим контролем сроков производства работ, определение ресурсов и объемов, бюджетирование и контроль затрат, а также получение необходимых согласований и разрешений, соблюдение технических требований, контроль качества, обеспечение выполнения мер по охране труда и технике безопасности; решение возникающих проблем и инцидентов.

В складывающихся условиях наиболее приемлемым будет применение Теории Ограничений Систем (ТОС) в строительстве, которая предполагает выявление и устранение узких мест, препятствующих эффективности проекта. Основной принцип – концентрация усилий на главных ограничениях, таких как дефицит кадров, задержка поставок или проблемы с управлением, чтобы добиться максимального результата для всей системы, а не улучшать отдельные процессы изолированно.

Теория ограничений (ТО) применяется в стесненных городских условиях следующим образом:

- определяются ключевые ограничения: отсутствие достаточного пространства, сложности с логистикой, сжатые сроки, необходимость специальных технологий;

- выявляется самое узкое место, которое замедляет весь процесс, например, доставка материалов или временные рамки;

- разрабатываются целевые решения: изменение маршрута техники, специальная упаковка материалов, переход на быстрые методы строительства;

- постоянно отслеживается эффект принятых мер и выявляются новые узкие места для непрерывного улучшения.

Таким образом, теория ограничений концентрирует усилия на реальных причинах торможения, повышая эффективность строительства.

Пример применения в строительстве:

Рассмотрим случай, когда в проекте индивидуального жилого дома выделяются основные этапы: подготовка площадки, монтаж конструкций, внутренняя отделка и финальная сдача объекта. Допустим, на этапе внутренней отделки возникла нехватка рабочих рук. Несмотря на быструю подготовку площадки и эффективный монтаж конструкций, низкая

численность отделочных бригад становится «узким местом», замедляя общий ход строительства. Согласно Теории Ограничений Систем (ТОС), решение состоит в устранении причины отставания именно на данном этапе – увеличении числа работников или привлечении специализированных бригад. Устранение этого узкого места приведет к ускорению всего строительного цикла.

Таким образом, в условиях плотной городской застройки, где дополнительные ограничения связаны с ограниченной площадью и сложностью доступа к объекту, теория ограничений приобретает особую значимость, позволяя выявить ключевые препятствия и сконцентрироваться на их преодолении для общего ускорения и повышения эффективности проекта.

Планирование проекта включает в себя несколько параметров начиная с договора на строительство объекта, и включая проектно-сметную документацию, однако в ходе производства работ, может появиться понимание, где нужно увеличить объем работ и количество ресурсов, а также использовать непредвиденные затраты для выполнения данных работ, которые уже заложены в проект. Для решения возникших вопросов и согласования изменений в проекте, следует в соответствии с календарным графиком производства работ, анализом рисков с целью их минимизации воздействия на проект необходимо грамотно и вовремя проводить согласования и внесение изменений в ПДС, в том числе и путем заключения дополнительных договоров (рис. 2).

Проблемы организации строительной площадки в плотной городской застройке малых городов заключаются в ограниченности пространства, рисках повреждения соседних зданий, трудностях подключения к инженерным сетям, соблюдении санитарных норм и поддержании транспортной доступности. Особенностью инженерного обеспечения объектов ИЖС является использование альтернативных способов подключения, внедрение энергоэффективных технологий, отдельных систем сбора стоков и экологически чистых материалов, а также создание локальных инфокоммуникационных комплексов. Решение этих задач требует творческого подхода, сочетающего уважение к местным традициям и современным потребностям населения.

Подписчик:
Генеральный директор ООО «Тепло»
Петров А.В.
_____ 20__ г.

Заказчик:
Директор ООО «ЮИ»
_____ 20__ г.

АКТ
об изменении объема и состава работ

Мы, нижеподписавшиеся: _____
представитель Заказчика (по вопросам строительного контроля)
инженер технического отдела ООО «ЮИ» О.А. Иванова

и представитель строительно-монтажной организации
Генеральный директор ООО «Тепло» Петров А.В.

рассмотрев вопрос о том, что в процессе выполнения работ выявлена необходимость изменения состава и объема работ,
выполняемых по Муниципальному контракту № 0145300005415000302-0208336-01 от 28.09.2013 района системы ГВС,
ХВС, канализации в здании МБОУ "средняя общеобразовательная школа" по адресу: Ленинградская область, Лужский район, без изменения цены контракта

№ п/п	Шифр порозыва	Наименование	Ед. изм.	Объем по контрактной смете	Фактически выполненное	Разница
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. ХВС и ГВС						
1	ГЕР05-1-1	Разборка трубопроводов из полипропиленовых труб диаметром: до 32 мм	100 м трубопровода	2,3	3,2416	0,9416
2	ГЕР16-04-002-01	(прим) Прокладка трубопроводов водоснабжения из полипропиленовых 20 мм	100 м трубопровода	2	3,0402	1,0402
3	ТСЦ.301-0040	Компеты для крепления: труб	шт.	60	0	-60
Раздел 2. Санитарные приборы						
4	ГЕР05-6-24	Смеситель: умывальников	100 приборов	0,32	0,2	-0,12
5	ГЕР05-6-15	Смеситель: мойки на одно отделение	100 приборов	0,03	0	-0,03
6	ГЕР17-01-001-27	Установка трансов диаметром: 50 мм	10 комплект	0,6	0,6	0
7	ГЕР05-5-6	Смеситель: с душевой сеткой	100 шт.	0,06	0,04	-0,02

Мы, нижеподписавшиеся: _____
по результатам проведенных мероприятий выполнять работы, необходимые для завершения ремонта по объекту
ремонт системы ГВС, ХВС, канализации в здании МБОУ "Средняя общеобразовательная школа" по адресу:
представитель Заказчика (по вопросам строительного контроля)
представитель строительно-монтажной организации

Рис. 2. Пример «Акта на внесение изменений в ПСД»

Рациональное расходование ресурсов [7] играет значительную роль в снижении себестоимости и повышении качества строительства. Экономичное использование материалов, уменьшение объемов отходов и вторичная переработка помогают сократить затраты. Грамотная эксплуатация техники, систематический техобслуживание и эффективное использование оборудования повышают продуктивность труда. Высококвалифицированный персонал, грамотная мотивация и освоение инновационных методик существенно влияют на успех проекта.

Страхование служит ключевым элементом стратегии управления рисками в строительстве. Оно охватывает защиту самих объектов, страхование гражданской ответственности и личное страхование работников. Контроль рисков подразумевает выявление потенциальных опасностей, оценку степени их вероятности и разработку профилактических мер для минимизации негативных последствий. Планомерный мониторинг, превентивные мероприятия и создание финансовых резервов снижают вероятность наступления неблагоприятных ситуаций [8].

Практическая реализация возможна через последовательное применение [9; 10]:

- предварительное изучение обстановки;
- постепенное введение новшеств с учетом готовности

коллектива;

– непрерывный контроль и своевременная корректировка действий.

Отечественный опыт организации ИЖС в плотной городской застройке ориентирован на адаптацию старых районов, расширение частной собственности и применение типовых проектов. Зарубежный опыт отличается большей интеграцией частного сектора в общую урбанизированную среду, применением энергоэффективных технологий и созданием комфортных общественных пространств вокруг индивидуальных домов. Оба подхода стремятся обеспечить комфортные условия жизни, сохраняя историческое наследие и улучшая качество городской среды.

Примеры организации ИЖС наиболее органично вписанных в плотной городской застройке:

В России:

елябинск: Программа реновации ветхого фонда позволила создать современные жилые кварталы с индивидуальным жильем внутри исторических центров небольших населенных пунктов региона. Новые дома гармонично вписаны в старую застройку благодаря адаптивным технологиям и применению традиционных форм фасадов.

рхангельск: Город активно развивает практику точечной застройки индивидуальными домами в центре малых поселений, применяя деревянные каркасные конструкции, подходящие климатическим условиям Севера. Такие дома интегрируются в исторический облик, сохраняя традиционные черты деревянного зодчества.

За рубежом:

райбург (Германия): Квартал Вальдшессельштадт, расположенный близко к центру Фрайбурга, демонстрирует успешный пример интеграции индивидуальной застройки в плотную городскую ткань. Индивидуальные дома расположены плотно, создавая уютные дворы, объединяют частную жизнь и общественные пространства. Использование современных экотехнологий повышает привлекательность района.

ельсинки (Финляндия): Район Каласатама стал примером удачного сочетания традиционной скандинавской деревянной архитектуры с современными технологиями энергосбережения. Индивидуальная застройка здесь сочетается с компактностью пространства и высоким уровнем благоустройства дворов и улиц.

Эти примеры демонстрируют уникальные подходы к решению проблемы индивидуальной застройки в условиях тесноты и позволяют сохранить историко-культурную ценность малых городов.

Современное ИЖС развивается по направлениям экологической устойчивости, автоматизации быта, повышения комфорта, адаптации к плотной застройке, улучшения социальной инфраструктуры и внедрения цифровых технологий, стремясь сформировать гармоничную и функциональную городскую среду.

Основные выводы:

- возведение индивидуального жилья в сложной городской среде требует всестороннего подхода;
- современная ситуация диктует необходимость инновационных решений;
- эффективность достигается за счет грамотного планирования, проектирования, технологий и экономики.

В итоге оптимизация процессов должна ускорять строительство, улучшать качество и снизить риски, что положительно скажется на уровне жизни, в том числе и через строительство ИЖС, что позволит людям испытывать комфортное проживание в индивидуальном доме, не выезжая из городской среды, и имея доступ ко всем благам городской жизни.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Иванов А.В., Петров Б.Н. Проблемы и перспективы строительства индивидуального жилья в условиях городской застройки // Вестник строительной индустрии. – 2022. – № 3. – С. 15–22.

Петрова Е.С. Особенности организации строительного процесса в условиях ограниченности площадей и плотной застройки городов // Научные труды института градостроительства. – 2023. – № 1. – С. 34–

Сидоров Д.А., Сидоров Н.Г. Методические основы оптимизации строительных процессов при возведении индивидуальных жилых домов

Сидоров Ю.И. Экологические аспекты строительства индивидуальных жилых домов в условиях плотной городской застройки // Экологический вестник России. – 2022. – № 4. – С. 55–61.

Смирнов В.М., Смирнов Г.Л. Роль информационно-строительного моделирования (BIM) в оптимизации строительства индивидуальных жилых домов // Журнал архитектуры и строительства. – 2023. – № 1. – С. 43–50.

Степанов П.К., Степанов А.Е. Повышение эффективности строительства индивидуальных жилых домов средствами цифровизации и автоматизации // Строительные технологии XXI века. – 2022. – № 4. – С. 63–70.

орозова Л.П. Совершенствование методики расчета затрат и финансирования строительства индивидуальных жилых домов // Бюджет и финансы. – 2022. – № 3. – С. 38–44.

рлов С.Ю. Система управления рисками и страхованием при строительстве индивидуальных жилых домов // Управление строительными проектами. – 2023. – № 2. – С. 19–25.

едоров А.Р. Современные тенденции в технологиях индивидуального домостроения // Архитектура и строительство Москвы. – 2023. – № 1. – С. 22–28.

арченко Н.Б., Гордеев В.И. Оптимизация процессов строительства индивидуальных жилых домов методами предпроектного анализа и планирования // Проектирование и строительство. – 2022. – № 2. – С. 48–54.

**Евдокимов А.Ю., студент,
Кувшинова А.С., студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, ст. преп.
Обернихина Я.Л.**

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

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Контроль качества представляет собой неотъемлемую составляющую системы управления качеством, направленную на обеспечение полного соответствия продукции и предоставляемых услуг установленным требованиям и стандартам. Это комплексный подход к работе, который включает в себя измерение ключевых характеристик продукции, их сопоставление с нормативными показателями и детальный анализ отклонений для принятия своевременных корректирующих мер.

В процессе контроля качества осуществляется всесторонняя проверка не только конечных результатов, но и промежуточных этапов производства. Технические условия определяют необходимый набор контрольных мероприятий, которые должны быть реализованы для обеспечения надлежащего качества выполнения строительных работ. Они охватывают все аспекты производственного процесса: от проверки используемых материалов и изделий до контроля правильности выполнения технологических операций и завершения строительных работ.

Эффективная система контроля качества позволяет своевременно выявлять и устранять возникающие несоответствия, обеспечивая тем самым высокое качество конечной продукции и соответствие всех этапов строительства установленным нормативам и требованиям.

Один из распространенных методов контроля качества базируется на проверке уже готовой продукции. Основная задача такого подхода заключается в том, чтобы своевременно выявить и отсеять изделия, не соответствующие установленным требованиям, до момента их отправки конечному потребителю. В процессе проверки дефектные изделия либо отбраковываются, либо подвергаются ремонту.

Контроль приема, как правило, выполняется сотрудниками, не участвующими непосредственно в производственном процессе. Это приводит к ряду существенных недостатков:

Такой финальный контроль, находящийся между производителем и потребителем, обладает одним важным преимуществом – он обеспечивает объективность оценки качества. Однако данный метод имеет множество существенных минусов:

- замедленные информационные потоки, что может приводить к задержкам в выявлении и устранении проблем;
- отсутствие у инспекторов глубокого понимания производственных процессов и специфики изготовления продукции;
- отсутствие прямой ответственности инспекторов за качество производимой продукции;
- высокие затраты на проведение контроля, особенно при использовании непромышленного персонала;
- недостаточная эффективность профилактических мероприятий и планов по улучшению качества из-за отсутствия прямой вовлеченности в производственный процесс.

В результате такой подход к контролю качества, несмотря на свою объективность, может быть недостаточно эффективным с точки зрения оперативности и качества принимаемых мер по устранению выявленных недостатков.

В случаях, когда проведение испытаний приводит к разрушению продукции, решение о принятии или отклонении целой партии основывается на оценке качества случайно выбранных образцов. Этот метод статистического контроля, несмотря на предоставление менее полной информации и наличие рисков, связанных с выборкой, обладает рядом существенных преимуществ.

Во-первых, он более экономичен, поскольку требует меньшего количества инспекторов и сокращает время на проведение проверок. Во-вторых, быстрое принятие решений относительно всей партии позволяет своевременно реагировать на выявленные несоответствия.

При этом отказ от целой партии стимулирует поставщиков к улучшению качества своей продукции.

Статистический контроль может применяться как к конечному продукту (приемочный контроль), так и в процессе производства (технологический контроль). При приемочном контроле разрабатываются специальные планы отбора проб с четко заданными критериями приемки или отбраковки. Оценка всей партии осуществляется посредством тестирования случайно выбранных образцов.

Такой подход позволяет не только оперативно принимать решения о качестве партий продукции, но и систематически выявлять причины возникающих отклонений, разрабатывая эффективные меры по их устранению.

Строительная компания нацелена на максимальное сокращение затрат, связанных с низким качеством, при этом обеспечивая соответствие результатов своей деятельности требованиям заказчика. Для достижения этой цели используются как внутренние, так и внешние методы контроля качества.

Внутренний контроль подразумевает систематическое наблюдение и проверку всех этапов строительного процесса силами самой компании. Это включает контроль качества используемых материалов, регулярные проверки выполнения строительных работ и внедрение внутренних стандартов на всех этапах строительства.

Внешний контроль осуществляется с привлечением независимых субъектов. Например, качество бетона, поставляемого подрядчиком, может проверяться независимой лабораторией. Контроль выполнения металлоконструкций может проводиться руководителем проекта от имени заказчика, а также возможно привлечение независимых экспертов для оценки соответствия выполненных работ проектной документации и установленным нормам.

Эффективная система контроля качества позволяет строительной компании своевременно выявлять и устранять дефекты, обеспечивать высокое качество выполняемых работ, снижать риски претензий со стороны заказчика и минимизировать финансовые потери, связанные с низким качеством. Кроме того, она создает условия для постоянного улучшения качества работ и внедрения эффективных мер по предотвращению дефектов. Таким образом, сочетание внутреннего и внешнего контроля способствует обеспечению высоких стандартов в строительной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин В.М., Платонов С.А. Руководство по контролю качества строительно-монтажных работ. – СПб.: Изд-во КН, 1998. – С. 782–784.
2. Исикара Каору. Японские методы управления качеством. – М.: Издательство «Экономика», 1988. – С. 233–240.
3. Дикман Л.Г. Организация и планирование строительного производства: Учебник. – М.: Высшая школа, 1988. – Гл. 32. – С. 33–40.
4. Никитин В.М., Платонов С.А., Селькин В.А. Руководство по контролю качества строительно-монтажных работ. – СПб.: Центр качества строительства, 1998. – С. 12–20.
5. Альперин Л. Современный взгляд на системы качества и их развитие // Стандарты и качество. - 2006. - №1. – С. 42–50.
6. Сулейманова Л.А., Кочерженко В.В., Марушко М.В. Методологические, методические и организационные вопросы проектирования и реализации образовательной программы магистратуры «Технологии, организация и информационное моделирование строительства // Строительное производство.» 2019, №4 С. 26–30.
7. Кочерженко В.В., Кочерженко А.В. Основы технологии возведения зданий и специальных сооружений. Белгород: Изд-во БГТУ. 2016. с 33–38.

Жерновая Д.А., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, проф.
Кочерженко В.В.**

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

АНАЛИЗ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Быстрое твердение бетона является ключевым фактором сокращения строительных сроков, однако использование методов ускорения зачастую требует значительных энергетических затрат. Энергопотребление является важным показателем экономической эффективности и экологической безопасности технологии. Цель данной работы – провести оценку расхода электроэнергии при применении различных методов ускорения твердения и разработать рекомендации по их оптимизации.

Наиболее распространенные методы ускорения твердения включают тепловые и химические технологии:

Пропаривание бетонной смеси - метод тепловой обработки, при котором свежесложенный бетон подвергается воздействию насыщенного пара при повышенной температуре;

Электропрогрев – метод, основанный на использовании электрического тока для нагрева бетонной смеси;

Инфракрасное излучение –электромагнитные волны, находящиеся в спектре между видимым светом и радиоволнами;

Использование термоматов и тепловых пушек;

Греющий кабель – электрический проводник с высоким сопротивлением, который нагревается при прохождении через него электрического тока, преобразуя электрическую энергию в тепловую

Каждый из методов требует определенного уровня энергозатрат, что существенно влияет на общие показатели эффективности.

Для оценки энергопотребления использовалась модель, основанная на расчетных данных по мощности оборудования и времени его эксплуатации. В качестве исходных данных использовались показатели из технических паспортов оборудования, а также нормируемые режимы работы.

Таблица 1

Расход электроэнергии по методам ускорения твердения

Метод	Средний расход электроэнергии (кВт·ч) на 1 м ³	Особенности
Пропаривание	25–35	Высокое энергопотребление, быстрый эффект
Электропрогрев	18–28	Регулируемое потребление энергии
Инфракрасное излучение	10–20	Энергоэффективное, локальное нагревание
Термоматы и тепловые пушки	15–25	Туманное распределение тепла
Греющий кабель	12–22	Постоянный нагрев, энергоемко

На основании проведенного анализа предлагаются следующие рекомендации:

Комбинирование методов

Использование комбинированных технологий (например, инфракрасное излучение вместе с тепловыми пушками) позволяет снизить общее энергопотребление за счет более эффективного распределения тепловой энергии.

Автоматизация управления тепловыми режимами

Применение систем автоматического контроля и динамического регулирования температуры позволяет избегать избыточных затрат энергии.

Оптимизация времени работы оборудования

Планирование продолжительности использования тепловых установок с учетом характеристик бетона и условий строительства способствует снижению затрат.

Использование энергоэффективных устройств

Внедрение современного оборудования с большим КПД способствует уменьшению потребления электроэнергии.

Рассмотрение альтернативных источников энергии

Интеграция возобновляемых источников (солнечных панелей, тепловых насосов) для питания оборудования.

Энергозатраты на ускорение твердения бетона являются значительным компонентом общей технологической стоимости и оказывают влияние на экологическую безопасность. Анализ показал, что использование инфракрасных нагревателей и автоматизации управления позволяет снизить энергопотребление по сравнению с традиционными методами. Рекомендации, предложенные в статье, могут быть внедрены на практике для повышения энергоэффективности строительных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимбаев, Ш. М. Обоснование энергосберегающей низкотемпературной обработки цементного бетона: монография / Ш. М. Рахимбаев, А. В. Половнева. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 86 с.
2. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее: материалы обл. науч. практ. конф. в 3-х ч. – 2011. – С. 98–102.
3. Алексеева Л. Г., Смирнов В. В. Энергетические показатели процесса твердения бетонных смесей // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2022. – № 3. – С. 55–63.
4. Быков А. В., Иванов А. В. Методы ускорения твердения бетона: обзор и сравнительный анализ // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2021. – № 4. – С. 5–15.
5. Зими́на, А.А. Современные технологии ускорения набора прочности бетона // Студенческие дни науки в ТГУ – 2022: научнопрактическая конференция: Тольятти, 4-29 апреля 2022 года: сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2023. С. 36-40.
6. Соколов Д. А., Миронов К. В. Методы оценки прочности бетона в ранние сроки. // Журнал «Бетон и железобетон», 2021. №3. С. 35–42.

7. Головченко И.В. Интенсификация процесса возведения монолитного ж/б перекрытия девятиэтажного жилого дома за счет применения электропрогрева и химической добавки / Головченко И.В. // Экономика строительства и природопользования №1(2), 2017. С. 85-88.

8. Полторан, Я.Е., Ведищев К.А. Прочность бетона и факторы, влияющие на нее// Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки», 2019. №7. С. 34.

9. Арбенев А.С. Основы комплексной энергообработки бетонной смеси в строительстве // Энергообработка бетонной смеси в строительстве: Тез. докл. / Под ред. А.С. Арбенева; Владимир: Владим. гос. техн. ун-т, 2019. С. 8-12.

10. Ильин А. В., Кузьмин П. Ю. Рациональный выбор методов прогрева бетона в условиях низких температур. // Технология строительства, 2020. №6. С. 45–52.

11. Тихонов, А. Ю., Алексеева, Л. Г. Оптимизация технологии ускоренного твердения для повышения энергоэффективности // Международный журнал строительных технологий. № 6, 2021. С. 78–85.

12. Федотова, И. А., Михайлов, В. П. Современные технологии сокращения энергозатрат при строительстве из монолитного бетона // Строительство и инновации. № 2, 2023. С. 23–30.

Зайка М.А., магистрант

Научный руководитель: д-р экон. наук, проф.

Бирюков Н.А.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА ПО СОКРАЩЕНИЮ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА РОССИЙСКИЙ РЫНОК НЕДВИЖИМОСТИ

В условиях глобализации и усиления конкуренции на рынке жилищного строительства особое значение приобретает эффективность реализации строительных проектов. Сокращение сроков возведения жилых зданий является одной из приоритетных задач, определяющих экономическую эффективность инвестиционных проектов и конкурентоспособность строительных организаций [1]. В представленной статье проводится анализ международного опыта в области различных технологий и методологий, позволяющих ускорить строительство жилых зданий. Особое внимание уделяется практикам, успешно реализованным в странах с развитой строительной индустрией, таких как Германия, Япония, США и Китай.

Рассматриваются основные подходы, технологические инновации и организационные решения, способствующие сокращению сроков строительства. Анализ позволяет выявить возможности применения зарубежных практик в российском контексте, определить потенциальные барьеры и предложить рекомендации по их преодолению.

Современный рынок недвижимости характеризуется высокой динамичностью и жесткой конкуренцией, диктующей необходимость повышения скорости реализации строительных проектов без снижения качества. В России, несмотря на значительный объем жилищного строительства, сроки возведения жилых комплексов зачастую превышают плановые показатели, что создает дополнительные финансовые и социальные риски [2]. В таких условиях особую актуальность приобретает изучение международного опыта, позволяющего реализовать проекты в сжатые сроки за счет внедрения новых технологий, методов управления и организационных решений.

Мировая практика демонстрирует, что эффективность сокращения сроков строительства достигается за счет системного подхода, включающего применение современных технологий, например, информационные технологии или модульное строительство, оптимизацию управленческих процессов и внедрение инновационных методов работы. Анализ зарубежных методов позволяет выявить их потенциал для российской строительной отрасли и сформировать рекомендации по их адаптации с учетом локальных условий и нормативных требований [3].

Данная статья посвящена исследованию опыта ведущих стран в области сокращения сроков жилищного строительства, выявлению ключевых факторов успеха и оценке возможности их практического внедрения в России для повышения эффективности национальной строительной системы.

Для разработки эффективных стратегий сокращения сроков жилищного строительства необходимо проанализировать мировой опыт, применяемые технологии и методы, а также результаты их внедрения в различных странах. Такой анализ позволяет выявить наиболее перспективные направления и адаптировать успешные практики к российским условиям.

Рассмотрим ключевые подходы, используемые за рубежом, их преимущества и особенности реализации.

Мировой опыт в области сокращения сроков строительства

Одним из наиболее ярких примеров успешного внедрения методов ускорения жилищного строительства является Германия, где широко распространены технологии модульного и сборного строительства. В стране использованы системы «под ключ», основанные на

предварительной сборке элементов зданий в условиях фабрики. Такой подход позволяет значительно сократить сроки реализации проекта, поскольку монтаж готовых модулей на строительной площадке осуществляется в сжатые сроки, а также обеспечивает более высокий уровень контроля качества. В Германии также активно применяются цифровые технологии, такие как информационное моделирование (ТИМ, англ. BIM – Building Information Modeling), что позволяет оптимизировать проектные решения, снизить количество ошибок и пересмотров на этапах строительства [4].

В Японии, учитывая ограниченность земельных участков и необходимость быстрого возведения жилья в условиях высокой плотности населения, широко распространена концепция «скоростного строительства» с применением технологий предварительной сборки и автоматизации строительных процессов. Один из примеров – JWT (англ. Japan Wood Technology) – это технология строительства, которая использует инновационный метод соединения деревянных элементов без использования гвоздей, скоб и клея, а также использование модульных конструкций и интеграция систем автоматизированного управления строительными работами, что позволяет сократить сроки на 20-30% по сравнению с традиционными методами. Например, на строительство типовой многоэтажки зачастую уходит вдвое меньше времени, благодаря заранее подготовленным элементам и роботизированным системам монтажа. Кроме того, японские компании активно используют цифровые платформы для координации поставок и ремонта, что дополнительно ускоряет процесс завершения проекта и снижает издержки [5].

Соединенные Штаты Америки демонстрируют пример внедрения инновационных методов управления проектами, таких как использование систем автоматизированного планирования и контроля сроков, а также применение современных строительных материалов и технологий. В 2024 г., в штате Флорида, компания «Renco» разработала и выпустила материал для быстрого возведения объектов. «Renco» возвели жилой комплекс на 96 квартир в деревне Палм-Спрингс из формованных блоков, работающих по принципу конструктора «Lego». Блоки прямоугольной формы увенчаны узнаваемыми выступами, за которые они крепятся друг к другу. Смесь для деталей изготовлена из стекловолокна, смолы и камня, причем 40 % материала составляют переработанные отходы судостроительной промышленности. Его прочность, по словам авторов, в 23 раза выше, чем у бетона, при этом весит один «кирпичик» размером 20×20×40 см на 20 % меньше, чем шлакоблок – строительный камень, полученный из бетона [6]. Кроме того, уже несколько лет американские компании активно используют роботизированные системы для сборки и установки элементов

зданий, что дополнительно ускоряет процесс строительства и снижает издержки [7].

Являясь одной из самых быстрорастущих экономик в мире, Китай предлагает уникальные возможности и вызовы в строительном секторе, активно внедряя технологии промышленного производства строительных элементов и роботизацию процессов. В стране развивается практика массового использования заводских модулей, что позволяет сократить сроки до 40-45 %. Также в Китае распространены системы цифрового проектирования и управления строительными работами и использование беспилотных технологий при мониторинге строительных площадок. Широкое применение получают облачные цифровые решения для совместной работы в режиме реального времени и управления строительными проектами, что способствует сокращению времени реализации проектов и повышает эффективность контроля выполнения работ [8].

Ключевые методы и технологии, реализуемые в ведущих странах

1. Модульное и сборное строительство.

Основной принцип – изготовление строительных элементов в условиях фабрики с последующей быстрой сборкой на строительной площадке. Этот подход позволяет практически исключить задержки, связанные с погодными условиями, а также повысить качество и безопасность работ.

2. Использование информационных технологий.

Цифровое моделирование проектов позволяет своевременно выявлять возможные конфликты и ошибки, оптимизировать строительный процесс и минимизировать внеплановые работы. Внедрение цифровых технологий позволяет точнее прогнозировать затраты и риски, способствует более точному планированию и контролю сроков [9].

3. Автоматизация и роботизация строительных процессов.

Внедрение автоматизированных систем, робототехники и дронов помогает ускорить выполнение трудоемких операций, повысить точность и снизить человеческий фактор.

4. Логистические и управленческие инновации.

Использование систем автоматизированного управления логистикой материалов и графиками работ позволяет снизить время простоев, оптимизировать снабжение и повысить эффективность работы.

Анализ зарубежного опыта демонстрирует: сокращение сроков возведения жилых зданий может быть достигнут за счет системного внедрения современных технологий, инновационных материалов, современных методов и способов проектирования, организации и производства работ. Модульное строительство, использование ТИМ,

автоматизация процессов и оптимизация логистики являются ключевыми факторами успеха в ведущих странах. Внедрение этих практик позволяет не только сократить сроки реализации проектов, но и повысить качество, снизить расходы и улучшить безопасность производимых строительных работ.

Для России, где традиционные методы строительства зачастую связаны с длительными сроками и высоким уровнем затрат, адаптация зарубежных практик представляет значительный потенциал для повышения эффективности жилищного сектора. Однако для успешной реализации этих методов необходимо преодолеть ряд внутренних барьеров, таких как нормативно-правовые ограничения, недостаточная технологическая оснащенность, а также необходимость формирования соответствующих кадровых компетенций [10].

Рекомендуется усовершенствовать существующие, разработать и внедрить новые национальные стандарты и нормативы, способствующие использованию модульных технологий и ТИМ, а также стимулировать инвестиции в автоматизацию строительных процессов. Важной составляющей является создание условий для развития промышленного производства строительных элементов, что потребует поддержки со стороны государства и частных инвесторов. В долгосрочной перспективе внедрение современных технологий может значительно повысить конкурентоспособность российского жилищного сектора на международном уровне и обеспечить более устойчивое развитие отрасли.

Опыт ведущих стран демонстрирует, что системное применение инновационных методов позволяет существенно снизить сроки строительства жилых объектов и повысить их качество. Внедрение этих стратегий в российскую практику должно стать приоритетом для повышения конкурентоспособности национальной строительной отрасли, сокращению издержек и сроков реализации проектов, обеспечения своевременного удовлетворения потребностей в жилье, более устойчивую и современную жилищную среду для населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайка М.А. Анализ методов сокращения сроков строительства жилых зданий // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2025. – Ч.5. – С. 34-38.
2. Проблемы и риски кредитного финансирования жилищного строительства. Аналитическая записка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cbr.ru>

3. Сальников К.Е. Зарубежный опыт сокращения продолжительности строительства // Финансы и управление. – 2020. – №4.
4. BIM в Германии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.e-zigurat.com/en/blog>
5. Морозова, А. И. Технология строительства Japan Wood Technology / А. И. Морозова, Т. В. Игнатюк, Г. В. Лешко // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара. – Брест: УП «Брестоблгаз», 2023. – С. 89–91.
6. Во Флориде построили многоквартирные дома из блоков «лего» – в 23 раза более прочных, чем бетонный аналог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://archi.ru/tech>
7. Асенова З.Т. Применение зарубежного опыта управления проектами в Российской практике // Евразийский союз ученых (ЕСУ). Экономические науки. – 2018. - №1(46). – С. 37-41.
8. Ба Ваньли. Инновации в современной китайской архитектуре // Культура и цивилизация. 2024. Том 14. № 4А. С. 82-92.
9. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. № 4(49). 2023. – С. 61-69.
10. Перцева А.Е., Волкова А.А., Хижняк Н.С., Астафьева Н.С. Особенности внедрения BIM-технологий в отечественные организации // Вестник евразийской наука. – 2017. – №6(43). – С. 1-8.

Закиров С.М., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Розанцева Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДВУХУРОВНЕВОГО ПОДЗЕМНОГО ПАРКИНГА В ИСТОРИЧЕСКОМ РАЙОНЕ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Санкт-Петербург – город с уникальной судьбой и двойственным статусом. С одной стороны, это живой, динамично развивающийся мегаполис, один из крупнейших экономических и культурных центров России. С другой – это город-музей, исторический центр которого включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО и представляет собой целостный, беспрецедентный по своей сохранности архитектурный ансамбль XVIII–XIX в. Этот дуализм порождает сложный

урбанистический конфликт: как обеспечить комфортную современную жизнь, не нарушив при этом хрупкую историческую ткань города?

Одной из самых острых манифестаций этого конфликта является проблема автомобилизации и, как следствие, катастрофический дефицит парковочных мест в центральных районах. Стихийно припаркованные автомобили, заполонившие не только проезжую часть, но и тротуары, набережные и даже площади, создают целый комплекс проблем:

- транспортный коллапс: постоянный поиск парковочного места генерирует избыточный «паразитный» трафик, усугубляя заторы;
- визуальное загрязнение среды: хаотичное скопление автомобилей грубо диссонирует с гармонией исторических фасадов, искажая восприятие архитектурных шедевров;
- снижение безопасности и комфорта: затрудняется движение пешеходов, спецтранспорта (скорой помощи, пожарных машин), а также уборочной техники;
- разрушение городской среды: происходит повреждение исторических мостовых, гранитных тротуаров и немногочисленных зеленых насаждений.

Очевидно, что традиционные решения, такие как строительство многоуровневых наземных или плоскостных парковок, в условиях исторического центра Санкт-Петербурга категорически неприменимы. Любое новое капитальное строение в охранных зонах неизбежно приведет к нарушению охраняемых панорам и силуэта города, что является прямым нарушением действующего законодательства (в частности, Закона Санкт-Петербурга № 820-7 «О границах объединенных зон охраны объектов культурного наследия...»).

В этой ситуации единственным стратегически верным и цивилизованным решением, успешно применяемым в других исторических мегаполисах мира, таких как Париж, Рим или Амстердам, является освоение и активное использование подземного пространства. Создание подземных паркингов позволяет решить транспортную проблему, не вмешиваясь в сложившийся архитектурный ландшафт.

Однако именно здесь инженеры и строители сталкиваются с комплексом вызовов, уникальных для Санкт-Петербурга и требующих нетривиальных подходов. Эти вызовы можно сгруппировать в три основные категории:

сключительно сложные инженерно-геологические условия. Центральная часть города расположена в дельте реки Невы и характеризуется геологическим разрезом, представленным слабыми, сильно обводненными грунтами озерно-ледникового и морского

генезиса. Это текучепластичные суглинки, супеси, илы с низкой несущей способностью и высокой сжимаемостью. Уровень грунтовых вод (УГВ) находится на глубине всего 1,5–3,0 м от поверхности, а сами воды зачастую обладают коррозионной активностью по отношению к бетону и стали. Любые работы по выемке грунта и строительству котлована в таких условиях сопряжены с риском потери устойчивости его бортов, гидростатического взвешивания конструкций и, что самое опасное, развитием недопустимых деформаций оснований близлежащих зданий.

Высокая плотность и уязвимость исторической застройки. Строительство ведется в режиме «внутриквартальной вставки», вплотную к зданиям, возраст которых насчитывает 150-250 лет. Многие из них имеют статус объектов культурного наследия (ОКН). Их конструктивная основа – это, как правило, ленточные фундаменты из бутового камня на хрупком известковом растворе или деревянные лежни и сваи, крайне чувствительные к любым изменениям гидрогеологического режима (осушению или подтоплению) и динамическим воздействиям. Малейшие вибрации от строительной техники или осадки грунта, вызванные разработкой котлована, могут привести к образованию трещин в стенах, перекосу оконных и дверных проемов, а в худшем случае – к потере общей устойчивости зданий-памятников.

Острые логистические и инфраструктурные ограничения. Узость улиц исторического центра накладывает серьезные ограничения на габариты и массу используемой строительной техники, усложняет процессы доставки материалов (бетонной смеси, арматуры) и вывоза огромных объемов грунта. Кроме того, подземное пространство центра перенасыщено инженерными коммуникациями, многие из которых имеют значительный износ и не всегда точно нанесены на исполнительные схемы, что создает дополнительный риск их повреждения.

Таким образом, актуальность настоящей работы обусловлена острой практической необходимостью в разработке и систематизации такой организационно-технологической модели строительства подземных паркингов, которая бы гарантировала безопасность окружающей исторической застройки в экстремальных инженерно-геологических и градостроительных условиях Санкт-Петербурга.

Целью настоящей работы является формирование комплексного подхода к организации и технологии строительства двухуровневого подземного паркинга в историческом центре, позволяющего минимизировать риски и негативное воздействие на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать специфические геотехнические риски, возникающие при устройстве глубоких котлованов в слабых водонасыщенных грунтах вблизи существующих зданий;
- обосновать выбор оптимальной и наиболее щадящей технологии устройства ограждающих конструкций и разработки грунта;
- разработать поэтапную организационно-технологическую последовательность производства работ, акцентируя внимание на ключевых контрольных точках;
- определить состав и роль системы комплексного геотехнического мониторинга как неотъемлемого инструмента управления безопасностью строительства.

Основная часть

Анализ геотехнических рисков и выбор оптимальной строительной технологии

Реализация любого проекта подземного строительства в условиях, подобных историческому центру Санкт-Петербурга, начинается с глубокого анализа потенциальных рисков. Успех или провал всего предприятия напрямую зависит от того, насколько точно были спрогнозированы и насколько эффективно были парированы эти риски на самом раннем этапе.

Классификация ключевых рисков

Все многообразие рисков можно сгруппировать в следующие категории:

Геотехнические риски, связанные с разработкой котлована:

Потеря устойчивости откосов и ограждения: давление грунта и гидростатическое давление могут привести к деформации или разрушению ограждающей конструкции, особенно при использовании традиционных методов (например, шпунтовых стен).

Суффозия: откачка воды из котлована может вызвать вынос мелких частиц грунта, что приводит к разуплотнению грунтового массива за пределами ограждения и, как следствие, к неравномерным осадкам прилегающей территории и фундаментов зданий.

Гидростатическое взвешивание (всплытие): после завершения строительства на днище сооружения действует выталкивающая сила воды. Если вес конструкции недостаточен, это может привести к ее подъему и разрушению.

Прорыв дна котлована (гидравлический выпор): при наличии под дном котлована водоносного напорного горизонта может произойти его прорыв, что приведет к затоплению и потере устойчивости основания.

Риски воздействия на окружающую застройку:

Осадочные деформации: любая выемка грунта приводит к разгрузке основания и перераспределению напряжений в окружающем массиве. Это неизбежно вызывает вертикальные и горизонтальные смещения грунта, которые, распространяясь на соседние здания, могут вызвать их недопустимые осадки и крены. Фундаменты исторической застройки, не имеющие жесткой связи, особенно уязвимы к неравномерным осадкам.

Динамические (вибрационные) воздействия: работа строительной техники, особенно ударного действия (забивка свай, шпунта), генерирует волны в грунте, которые могут вызвать резонансные колебания в конструкциях старых зданий, накопление усталостных повреждений и появление трещин.

Изменение гидрогеологического режима: устройство глухой противофильтрационной завесы может вызвать эффект «гидрогеологической плотины», приводя к подтоплению территорий с одной стороны и осушению с другой. Осушение, в свою очередь, губительно для деревянных свай и лежней, составляющих основу многих исторических фундаментов, так как при контакте с воздухом они начинают стремительно гнить, теряя несущую способность.

Технологические и организационные риски:

Повреждение подземных коммуникаций: неточности на картах сетей или ошибки при выполнении работ могут привести к авариям, затрагивающим целые кварталы.

Сложности логистики: пробки, ограничения на движение грузового транспорта, отсутствие площадок для складирования могут привести к срыву графика поставок бетона или вывоза грунта, что критично при непрерывных циклах работ (например, бетонирование секции «стены в грунте»).

1.2. Сравнительный анализ и обоснование выбора технологии

Учитывая перечисленные риски, выбор технологии строительства должен базироваться на двух главных принципах: минимизация воздействия на окружающий грунтовый массив и максимально возможная безопасность для прилегающих зданий.

Рассмотрим и сопоставим основные методы устройства ограждения и разработки котлована (см. табл. 1).

Таблица 1

Основные методы устройства ограждения и разработки котлована

Метод	Преимущества	Недостатки для условий Санкт-Петербурга	Применимость
Котлован с откосами + Водопонижение	Низкая стоимость	Требует огромной площади. Вызывает катастрофические осадки окружающей территории из-за изменения напряженного состояния и уплотнения грунтов при понижении УГВ. Приводит к гниению деревянных свай под соседними зданиями.	Категорически неприменим
Шпунтовое ограждение (забивное)	Относительно высокая скорость монтажа	Создает недопустимые динамические (вибрационные) нагрузки, разрушающие конструкции исторических зданий. Низкая герметичность шпунтовых замков приводит к необходимости водопонижения внутри котлована, что влечет негативные последствия (см. выше).	Категорически неприменим
Шпунтовое ограждение (вибропогружение)	Меньший уровень вибраций, чем при забивке	Уровень динамических воздействий остается критически высоким для ветхих зданий и слабых грунтов (тиссотропное разупрочнение). Проблема герметичности и необходимости водопонижения сохраняется.	Не рекомендуется
Буронабивные/Буроинъекционные сваи (БСС/БКС)	Низкий уровень шума и вибраций	Сложность обеспечения высокой степени герметичности стыков между сваями, особенно при наличии напорных вод. Требуется значительная толщина стены для обеспечения прочности и водонепроницаемости.	Ограниченно применим
«Стена в грунте»	Практически полное отсутствие вибраций и динамических нагрузок. Создание жесткой, водонепроницаемой завесы еще ДО начала земляных работ. Позволяет отсечь котлован от грунтовых вод без общего водопонижения. Минимизирует горизонтальные смещения грунта за пределами площадки.	Более высокая стоимость и сложность технологии. Требуется специализированное оборудование и высококвалифицированного персонала.	Оптимален, наиболее безопасен

Исходя из данного анализа, технология «стена в грунте» является единственно возможным безальтернативным решением для ограждения котлована в условиях плотной исторической застройки Санкт-Петербурга. Она позволяет «запечатать» строительную площадку,

создав жесткий подземный периметр до того, как будет извлечен хотя бы один кубометр грунта из ядра котлована.

Теперь рассмотрим методы разработки грунта внутри уже готового ограждения (см. табл. 2).

Таблица 2

Методы разработки грунта внутри готового ограждения

Метод	Описание	Недостатки для условий Санкт-Петербурга
«Bottom-up» (снизу-вверх)	Традиционный метод: грунт разрабатывается на полную глубину, после чего возводятся конструкции снизу-вверх (фундаментная плита, перекрытия). В процессе разработки для удержания «стен в грунте» используется распорная система или анкеры.	Требует установки мощной и металлоемкой распорной системы, что усложняет и замедляет работы. На этапе полной разработки котлована ограждающая стена испытывает максимальные нагрузки и имеет наибольшие деформации, что увеличивает осадки прилегающей территории. Создает высокие риски при монтаже/демонтаже распорок.
«Top-down» (сверху-вниз)	Инновационный метод: после устройства «стен в грунте» бетонируется верхнее перекрытие, которое сразу же начинает работать как постоянный распорный диск. Разработка грунта на следующий ярус ведется уже под защитой готовой конструкции.	Более сложная организация работ (стесненные условия под перекрытием, необходимость технологических проемов). Увеличиваются сроки строительства из-за последовательного выполнения работ.

Несмотря на некоторое усложнение организации работ, метод «top-down» надежную и безопасную схему. Основные преимущества такого симбиоза:

- многократное снижение деформаций: Горизонтальные смещения «стен в грунте» сводятся к минимуму (обычно не более мм), так как пролет, на котором она работает как изгибаемый элемент, не превышает высоты одного яруса (3-4 м). Это прямо влияет на минимизацию осадок соседних зданий;
- исключение временной распорной системы: Роль распорок выполняют постоянные междуэтажные перекрытия, что повышает надежность, сокращает расход металла и освобождает пространство внутри котлована;
- повышение общей устойчивости системы «ограждение-массив» на всех этапах строительства.

Вывод по разделу: Комплексный анализ рисков и существующих технологий однозначно показывает, что для строительства двухуровневого подземного паркинга в условиях исторического центра Санкт-Петербурга оптимальной и наиболее безопасной является комбинированная технология, включающая устройство ограждающей

конструкции методом «стена в грунте» и последующую разработку котлована методом «top-down». Именно эта технологическая связка позволяет наиболее эффективно управлять геотехническими рисками и гарантировать сохранность объектов культурного наследия.

2. Детальная организационно-технологическая последовательность работ

Успешная реализация проекта, основанного на комбинации технологий «стена в грунте» и «top-down», требует безупречной организации и строжайшего соблюдения последовательности операций. Весь строительный цикл можно разделить на три ключевых этапа: подготовительный, основной и заключительный.

2.1. Этап I. Подготовительные работы и организация геотехнического мониторинга

Это этап, на котором закладывается фундамент безопасности всего последующего строительства. Любая ошибка или недоработка здесь может привести к необратимым последствиям. Он включает в себя следующие мероприятия:

Историко-культурная и инженерная экспертиза:

- проводится детальное обследование технического состояния всех зданий, попадающих в зону влияния строительства (зону 30-50 метров от границ котлована);

- составляются технические паспорта на каждое здание, включающие: обмерные чертежи, схемы фундаментов (по данным шурфования), описание материалов и их текущего состояния, фотофиксацию всех существующих дефектов (трещин, отслоений штукатурки, кренов). Особое внимание уделяется объектам культурного наследия (ОКН);

- на основе собранных данных выполняется геотехнический прогноз (расчет) влияния строительства на окружающую застройку с использованием специализированных программных комплексов (например, Plaxis, Midas GTS NX). Моделирование позволяет спрогнозировать ожидаемые осадки и деформации и сравнить их с предельно допустимыми значениями, установленными нормативными документами (СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»).

Развертывание системы комплексного геотехнического мониторинга:

- геодезический контроль: на цоколях и фасадах обследованных зданий устанавливается сеть высокоточных геодезических деформационных марок. Измерения их планово-высотного положения производятся с помощью высокоточных электронных тахеометров и нивелиров с периодичностью, определенной программой мониторинга (ежедневно в периоды наиболее ответственных работ, еженедельно – в остальное время);

– инклинометрический контроль: вдоль периметра будущей «стены в грунте» бурятся скважины, в которые опускаются инклинометрические трубы. С помощью погружного датчика-инклинометра регулярно измеряются горизонтальные смещения ограждающей конструкции по всей ее глубине. Это позволяет в реальном времени контролировать «выпирание» стены в котлован;

– пьезометрический контроль: в наблюдательных скважинах устанавливаются пьезометры для мониторинга уровня и напора грунтовых вод. Это крайне важно для контроля за тем, чтобы строительство не вызывало критических изменений гидрогеологического режима;

– тензометрический контроль (при необходимости): на арматурные каркасы наиболее нагруженных участков «стены в грунте» или на элементы временного крепления могут устанавливаться тензодатчики для измерения фактических напряжений в конструкциях;

– вся информация от системы мониторинга стекает в единый центр, где анализируется геотехнической службой. В ППР заранее прописываются три уровня контрольных значений деформаций: «Внимание», «Предупреждение» и «Авария».

Подготовка строительной площадки:

– ограждение площадки, установка информационных щитов;
– расчистка и планировка территории;
– перенос и защита инженерных коммуникаций, попадающих в зону работ. Это один из сложнейших подэтапов, требующий согласования со всеми эксплуатирующими организациями города;

– устройство временных дорог, сетей электро- и водоснабжения;
– монтаж оборудования для приготовления и регенерации бентонитового раствора (смесительная станция, вибросита, гидроциклоны);

– обустройство арматурного цеха для вязки каркасов будущей стены.

Этап II. Основной период (Возведение подземной части сооружения)

Это наиболее технологически сложный этап, выполняемый в строгой последовательности.

Шаг 1. Устройство «стены в грунте»:

строительство форшахты: По контуру будущей стены отывается неглубокая траншея (1,0-1,5 м), в которой бетонируются две параллельные направляющие стенки. Форшахта служит для точного позиционирования рабочего органа экскаватора (грейфера) и предотвращения обрушения самого верха траншеи.

азработка траншеи под защитой бентонитового раствора:

– работы ведутся отдельными захватками (секциями) длиной м. Сначала разрабатываются «пионерные» (нечетные) захватки через одну.

- специализированная установка с гидравлическим или канатным грейфером разрабатывает грунт на проектную глубину. Одновременно с выемкой грунта траншея заполняется бентонитовым раствором. Плотность раствора (обычно 1,03-1,05 г/см³) подбирается так, чтобы создавать избыточное давление на стенки, удерживая их от обрушения. Раствор постоянно циркулирует, очищаясь от выбуренного шлама.

онтаж арматурного каркаса: В готовую, заполненную раствором траншею краном опускается заранее собранный на стапеле пространственный арматурный каркас. Каркас оснащается фиксаторами для обеспечения защитного слоя бетона.

етонирование методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ):

- в траншею опускается бетонолитная труба, нижний конец которой достигает дна;

- через воронку подается литая бетонная смесь с высокой подвижностью (осадка конуса П4-П5);

- бетон, будучи тяжелее бентонитового раствора, начинает заполнять траншею снизу-вверх, вытесняя раствор. Важнейшее условие – нижний конец трубы должен быть постоянно заглублен в бетонную смесь не менее чем на 1,5-2,0 м, чтобы избежать смешивания бетона с раствором;

- отработанный бентонитовый раствор откачивается, очищается и используется повторно.

азработка промежуточных («шпоночных») захваток: после того как бетон в соседних «пионерных» захватках набрал начальную прочность, разрабатываются оставшиеся между ними секции. Торцы соседних секций служат естественным ограждением для новой захватки.

Шаг 2. Разработка котлована по методу «top-down»
стройство диска перекрытия верхнего уровня (-1 этаж):

- после завершения работ по всему периметру «стены в грунте» и набора бетоном достаточной прочности, начинается первая стадия земляных работ;

- грунт вынимается открытым способом до отметки низа плиты перекрытия первого подземного уровня;

- монтируются (или бетонируются по технологии барретт) постоянные внутренние колонны, которые будут опираться на фундаментную плиту через временные основания или непосредственно на грунт;

выполняется армирование и бетонирование плиты перекрытия -1 этажа. Плита жестко связывается с «стеной в грунте» и колоннами. В плите предусматриваются технологические проемы (монтажные окна) размером примерно 4×5 м для последующей выемки грунта и подачи материалов.

Разработка грунта под защитой перекрытия:

после набора прочности плитой перекрытия (которая теперь выполняет функцию мощнейшей распорки) начинается следующий этап; через технологические проемы внутрь опускается малогабаритная техника: мини-экскаваторы, мини-погрузчики (типа Bobcat);

техника разрабатывает грунт до отметки низа следующей плиты (-2 этаж). Грунт подвозится к проемам и поднимается на поверхность краном в специальных бадах или контейнерах.

Этот цикл повторяется для всех последующих уровней.

Устройство фундаментной плиты:

После разработки грунта до проектной отметки дна котлована выполняется бетонная подготовка, гидроизоляция и бетонируется фундаментная плита. Она является основанием всего сооружения и одновременно противодействует выталкивающим силам грунтовых вод.

2.3. Этап III. Заключительный период

Заделка технологических проемов: после завершения всех подземных работ и демонтажа всей техники, оставленные в перекрытиях технологические проемы поочередно армируются и бетонируются.

Гидроизоляционные работы: выполняется устройство комплексной внутренней гидроизоляции для обеспечения 100 % герметичности. Это может быть обмазочная, напыляемая или мембранная гидроизоляция, наносимая на внутренние поверхности «стены в грунте» и фундаментной плиты.

Монтаж инженерных систем паркинга: прокладываются и монтируются все необходимые системы:

- приточно-вытяжная вентиляция с системой газоанализаторов для контроля концентрации СО;
- системы автоматического пожаротушения (спринклерная или дренчерная) и дымоудаления;
- электроснабжение, рабочее и аварийное освещение;
- системы навигации, видеонаблюдения, контроля доступа.

Отделочные работы и благоустройство: выполняется устройство износостойких полов с полимерным покрытием, нанесение разметки, монтаж отбойников, отделка стен и потолков, а также полное восстановление благоустройства на поверхности.

Роль геотехнического мониторинга

Основная роль системы геотехнического мониторинга – непрерывный контроль и управление рисками в реальном времени для обеспечения безопасности как самого строительства, так и окружающей исторической застройки. Это достигается за счет:

воевременного выявления опасных тенденций – система позволяет обнаружить малейшие отклонения (деформации, смещения, изменения уровня грунтовых вод) до того, как они перерастут в критическую ситуацию.

ерификации проектных решений – данные мониторинга сравниваются с

расчетными моделями (например, выполненными в Plaxis), что позволяет оценить точность прогнозов и при необходимости скорректировать технологию работ.

ринятия оперативных решений – на основе данных мониторинга инженеры могут вовремя изменять методы работ, усиливать конструкции или приостанавливать процессы для предотвращения аварии.

окументирования процесса – все данные фиксируются и могут быть использованы для отчетности, экспертиз и разрешения спорных ситуаций.

Состав системы геотехнического мониторинга

Система включает несколько взаимосвязанных компонентов, каждый из которых отвечает за контроль определенных параметров (см. табл. 3):

Таблица 3

Компоненты геотехнического мониторинга

Компонент мониторинга	Что измеряет	Методы и оборудование
Геодезический контроль	Планово-высотные деформации зданий и конструкций	Высокоточные электронные тахеометры, нивелиры, деформационные марки на фасадах и цоколях
Инклинометрический контроль	Горизонтальные смещения ограждающей конструкции («стены в грунте») по глубине	Инклинометрические трубы, погружные датчики-инклинометры
Пьезометрический контроль	Уровень и напор грунтовых вод	Пьезометры, установленные в наблюдательных скважинах
Тензометрический контроль	Напряжения в арматуре и конструкциях (при необходимости)	Тензодатчики, устанавливаемые на арматурные каркасы или элементы крепления

Ключевые особенности реализации
редварительное обследование:

- перед началом работ проводится детальная фиксация исходного состояния всех зданий в зоне влияния (трещины, крены, дефекты);
- создаются технические паспорта с обмерными чертежами и схемами фундаментов.

программирование уровней тревоги:

- в Проекте Производства Работ (ППР) заранее определяются три уровня контрольных значений:
- «Внимание» – незначительные отклонения, требующие усиления наблюдений;

- «Предупреждение» – значительные изменения, требующие анализа и коррекции работ;

- «Авария» – критические значения, при которых работы должны быть немедленно остановлены.

централизованный сбор и анализ данных:

- все данные стекаются в единый центр, где обрабатываются геотехнической службой;

- это позволяет оперативно оценивать общую картину и принимать управленческие решения.

Проблема дефицита парковочных пространств в историческом центре Санкт-Петербурга не может быть решена традиционными урбанистическими методами. Строительство подземных паркингов представляет собой стратегически верный и цивилизованный путь, позволяющий совместить динамичное развитие мегаполиса с сохранением его уникального исторического облика.

Проведенный анализ показал, что успешная реализация таких проектов в экстремальных инженерно-геологических и градостроительных условиях центра Санкт-Петербурга возможна только при условии применения комплексного, научно обоснованного подхода. Ключевыми элементами этого подхода являются:

Безальтернативный выбор специализированных технологий. Комбинация метода «стена в грунте» для устройства ограждающих конструкций и метода «top-down» для разработки котлована доказала свою эффективность как единственная схема, позволяющая минимизировать деформации окружающего грунтового массива и динамические воздействия на ветхую историческую застройку. Эта технологическая связка позволяет «запечатать» строительную площадку и вести работы под защитой постоянных конструкций, что гарантирует высочайший уровень безопасности.

Система комплексного геотехнического мониторинга как основа управления рисками. Мониторинг, включающий геодезический, инклинометрический и пьезометрический контроль, трансформируется из рядовой процедуры наблюдения в главный инструмент управления проектом. Он позволяет в режиме реального времени отслеживать состояние конструкций и окружающей застройки, оперативно реагировать на малейшие отклонения и верифицировать проектные решения, обеспечивая неукоснительное соблюдение нормативных ограничений по деформациям.

Детальная проработка организационно-технологической последовательности. Четкое планирование, начиная с этапа подготовительных работ и историко-культурной экспертизы и заканчивая финальным благоустройством, является залогом бесперебойности и предсказуемости строительного процесса в условиях жестких логистических и инфраструктурных ограничений.

Таким образом, представленная в работе организационно-технологическая модель, основанная на симбиозе передовых строительных технологий и всеобъемлющей системы мониторинга, предлагает практическое решение острой градостроительной проблемы. Ее внедрение позволит не только создать новые парковочные пространства, но и установить новый стандарт бережного и ответственного освоения подземного пространства в уникальной исторической среде Санкт-Петербурга, опыт которого может быть востребован и в других культурных столицах мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*». – М.: Минстрой России, 2016. – 156 с.
2. СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87». – М.: Минстрой России, 2017. – 132 с.
3. СП 246.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования». – М.: Минстрой России, 2016. – 87 с.
4. Закон Санкт-Петербурга № 820-7 «О границах объединенных зон охраны объектов культурного наследия, расположенных на территории Санкт-Петербурга, и режимах использования земель в границах указанных зон и о внесении изменений в Закон Санкт-Петербурга "О Генеральном плане Санкт-Петербурга и границах зон охраны объектов культурного наследия на территории Санкт-Петербурга"». – Принят Законодательным Собранием Санкт-Петербурга 24 октября 2018 года.
5. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., тер-Мартиросян З.Г. Геотехническое сопровождение строительства в стесненных условиях городской застройки. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 280 с.

Коломиец М. Р., студент,
Бессонова А. В., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Овсянников С. И.

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

ЭРГОНОМИКА КУХОННЫХ ГАРНИТУРОВ

Современная кухня представляет собой не просто место для приготовления пищи, а многофункциональное пространство, где человек проводит значительное количество времени. От эргономического решения кухонного гарнитура напрямую зависит комфорт, производительность труда, безопасность пользователя и эстетическое восприятие помещения. Эргономика в мебельном проектировании рассматривает взаимосвязь человека и предметной среды, устанавливает оптимальные размеры, расстояния и взаимное расположение элементов мебели и оборудования с учетом антропометрических особенностей человека [1].

Основным параметром, определяющим удобство работы, является высота рабочей поверхности. Согласно нормативам, оптимальная высота кухонного стола составляет 850–900 мм. Она определяется индивидуально – на уровне запястья опущенной руки человека среднего роста. Такая высота обеспечивает минимальное напряжение мышц и позволяет выполнять работу в естественном положении тела. При проектировании важно учитывать, что единая высота рабочих поверхностей обеспечивает непрерывность рабочего фронта, облегчает перемещение посуды и продуктов между варочной поверхностью, мойкой и рабочим столом [2].

Глубина столешницы обычно составляет 600 мм, что соответствует стандартной ширине кухонных шкафов и обеспечивает достаточную рабочую зону. Между задней стенкой мебели и стеной оставляют зазор 50–100 мм для прокладки коммуникаций и вентиляции. Внутренняя глубина нижних шкафов находится в пределах 460 мм. Заглубление цоколя от фасадной поверхности корпуса составляет не менее 50 мм, что позволяет удобно подходить к мебели, не упираясь ногами в фасады. Навесные шкафы выполняются глубиной не менее 270–300 мм, что обеспечивает легкий доступ к посуде и продуктам.

Для более наглядного представления основных функциональных размеров приведена табл. 1.

Таблица 1

Функциональные размеры изделий кухонного гарнитура

Наименование параметра	Обозначение	Размер, мм	Примечание
Расстояние от пола до рабочей поверхности	H	850–900	Определяется по росту человека
Высота основания (цоколя)	H ₂	100–150	Обеспечивает удобство доступа
Глубина столешницы	B	600	Стандартная ширина
Глубина настенного шкафа	B ₄	270–300	Обеспечивает доступность хранения
Расстояние от рабочей поверхности до нижней полки навесного шкафа	H ₄	450–600	Оптимальная видимость и доступность
Расстояние от пола до верхней полки	H ₃	До 1900	Максимальная зона досягаемости

Общая высота кухонного оборудования делится на четыре зоны: очень низкую (до 40 см), низкую (40–75 см), среднюю (75–190 см) и высокую (выше 190 см). Очень низкая зона используется редко – для хранения тяжелых или малоиспользуемых предметов. Низкая зона предназначена для крупной посуды и техники, средней интенсивности использования. Средняя зона является наиболее функциональной – здесь располагаются рабочие поверхности, полки с часто применяемыми продуктами и инструментами [3]. Высокая зона, напротив, неудобна для постоянного пользования, поэтому служит для размещения легких или сезонных предметов.

Одним из важнейших принципов организации пространства является «рабочий треугольник», включающий три основные точки: мойку, плиту и холодильник. Длина каждой стороны треугольника должна составлять от 1,1 до 2,7 м, а суммарное расстояние между ними не должно превышать 7 м. Такое расположение минимизирует ненужные перемещения, повышает эффективность работы и снижает утомляемость.

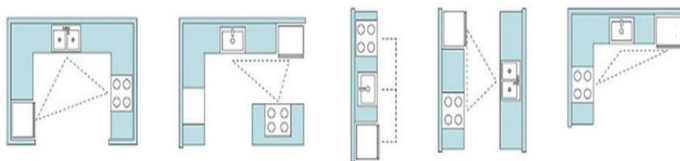


Рис. 1. Пример эргономичной планировки кухни по правилу рабочего треугольника

Существует несколько типов планировок кухонь [4]. При

прямолинейной расстановке все элементы располагаются вдоль одной стены – это решение подходит для небольших помещений. Параллельная планировка (или двухрядная) применяется в узких, но достаточно длинных помещениях, где мебель размещается вдоль двух противоположных стен, что позволяет эффективно разделить зоны хранения и приготовления пищи. Г-образная планировка считается наиболее распространенной: мойка обычно располагается в углу, а по обе стороны от нее находятся холодильник и варочная панель. П-образная компоновка используется в просторных кухнях, где рабочие зоны размещаются вдоль трех стен. В кухнях-студиях все чаще применяется вариант с «островом» – дополнительной поверхностью, расположенной в центре помещения, которая может выполнять функции обеденного стола или зоны приготовления пищи [5].

Для безопасного и удобного перемещения ширина проходов должна составлять не менее 900 мм, а при наличии нескольких пользователей – не менее 1100 мм. Минимальная рабочая поверхность рядом с мойкой должна быть не меньше 450 мм, а по обе стороны варочной панели – 300–450 мм [6].

Особую важность в эргономике кухонных гарнитуров имеют высотные характеристики, которые необходимо учитывать, как антропометрические параметры при расчетах высоты рабочих поверхностей, полок и шкафов.

Эргономические требования к кухонным гарнитурам представляют собой систему правил и нормативов, направленных на создание безопасной, удобной и функциональной рабочей среды. Их соблюдение позволяет повысить производительность труда, снизить физическую нагрузку и обеспечить рациональное использование пространства. Проектирование мебели на основе эргономических принципов способствует формированию гармоничного интерьера, где каждая деталь продумана с учетом потребностей человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 13025.1–85. Мебель. Размеры функциональные. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 24 с.
2. ГОСТ 16371–2014. Мебель. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.
3. Овсянников С.И., Сагайдачная Т.Н. Внутрихозяйственный учет затрат на малых мебельных предприятиях / С. И. Овсянников, Т. Н. Сагайдачная // в сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 188-192.
4. Ермаков, В. Г. *Эргономика и дизайн мебели*. – М.: Академия, 2018. – 192 с.

5. Дьяченко В.Ю., Овсянников С.И. Аспектология использования 3D фрезерования древесины в мебельном производстве // в сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Мат-лы междунар. науч.-практ. онлайн-конференции. 2018. С. 56-63.

6. Дьяченко В.Ю., Овсянников С.И. Тенденции дизайна в формообразовании мебели // в сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 82-88.

**Котенев А.Н., магистрант,
Еремин В.О., студент**

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

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

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЯХ

Освоение подземного пространства мегаполисов в последние десятилетия стало одним из приоритетных направлений градостроительной политики [1]. Ограниченность свободных территорий, необходимость сохранения исторического облика застройки, а также рост функциональных потребностей обуславливают востребованность технологии устройства дополнительных подземных этажей под существующими зданиями [2].

Использование подземных уровней в плотной застройке позволяет увеличить полезные площади зданий на 25-40 % без изменения их надземных параметров [3]. Однако такие проекты сопряжены с рисками: деформации фундаментов, прорывы грунтовых вод, увеличение стоимости до 1,3-1,5 раз по сравнению с традиционным строительством.

Все подземные и заглубленные этажи в существующих зданиях строят в основном из монолитного железобетона, что во многом определяет их конструктивные решения.

Рассмотрим технологии возведения подземных этажей в существующих зданиях.

Один из способов реализуется при опережающем возведении перекрытий по отношению к поперечной разработке грунта в котловане,

при этом бетонирование перекрытий осуществляется безопалубочным методом непосредственно на заранее подготовленном грунтовом основании (рис. 1) [4].

Технология «сверху вниз» по этому способу включает следующие этапы строительства:

- устройство ограждения котлована методом «стена в грунте» (наиболее часто применяемая конструкция ограждения, способная также воспринимать вертикальные нагрузки и препятствовать попаданию грунтовых вод в котлован) выполняется перед началом разработки котлована;

- устройство свайного основания с поверхности земли или с промежуточной отметки, в том числе выполняющего функцию временных или постоянных опор перекрытий подземной части сооружения;

- последовательное бетонирование плит перекрытий по грунту в распор со стеной в грунте (сверху вниз) с разработкой и выемкой грунта из-под перекрытий через технологические отверстия плиты. Бетонирование нижележащих перекрытий ведется последовательно по мере удаления грунта из-под выполненного ранее перекрытия малогабаритной техникой, способной работать в стесненных условиях. Удаление грунта с помощью грейферного экскаватора через монтажные отверстия в перекрытиях;

- демонтаж временных опор, поддерживающих перекрытия, временных распорных конструкций, бетонирование технологических отверстий происходит после возведения фундаментной плиты, постоянных колонн, несущих стен, бетонируемых по технологии «снизу-вверх».



Рис. 1. Экскавация грунта из-под перекрытия через технологические отверстия плиты

Другой способ возведения подземных сооружений отличается от первого тем, что предполагает опережающую поперечную разработку грунта и последующее возведение перекрытий с помощью инвентарной

опалубки, опирающейся на подготовленное грунтовое основание (рис. 2).



Рис. 2. Устройство инвентарной опалубки перекрытий, опирающейся на подготовленное грунтовое основание

Третий способ – комбинированный, сочетает в себе как элементы технологии возведения перекрытий безопалубочным методом, так и с опиранием инвентарной опалубки на подготовленное грунтовое основание. При значительных размерах котлованов в плане используют комбинированный метод разработки грунта полу-полузакрытым методом (*semy top down*), в котором возведение конструкций подземной части по периметру котлована выполняется способом «сверху вниз», а в центральной части – по классической схеме «снизу-вверх». При этом крепление ограждения котлована осуществляется за счет пространственной работы периметральных фрагментов дисков подземных перекрытий [5].

Возможны две схемы выполнения работ комбинированным методом. Для первой схемы характерно, что перекрытия выполняются участками, в виде дисков с огромными проемами, которые опираются по контуру на траншейные стены и поддерживаются промежуточными стальными балками (рис. 3, *а*). Устройство участков (дисков) перекрытий по периметру осуществляется в процессе поэтапной экскавации котлована. Вторая схема предполагает сохранение грунтовой призмы по всему контуру котлована, а строительство центральной части сооружения ведется снизу-вверх (рис. 3, *б*). Экскавацию грунта в контурной зоне котлована ведут поэтапно с одновременным объединением центральных фрагментов перекрытий с периметральными.

Использование комбинированного метода устройства подземного пространства успешно применяется в стесненных условиях плотной городской застройки, где предъявляются особые требования к

сохранению существующих зданий, примыкающих к площадке, обеспечению надежности возводимых конструкций.



Рис. 3. Комбинированный способ строительства полу-полузакрытым методом:
а – устройство перекрытий по первой схеме; б – по второй схеме

При реализации способов возведения подземной части зданий полузакрытым способом устройства котлована по технологии «сверху вниз» (top down) и комбинированным полу-полузакрытым способом (semy top down) особое внимание должно уделяться предварительной подготовке грунтового основания перед бетонированием перекрытия или установкой опалубки, которая может осуществляться песчаной подсыпкой, втрамбовыванием щебня, укладкой слоя низкомарочной бетонной смеси или цементно-песчаного раствора.

Четвертый способ предполагает возводить подземные этажи традиционно «снизу-вверх», поскольку производится выемка грунта всего объема планируемого освоения подземного пространства.

Вначале устраиваются винтовые сваи вдоль наружных стен по их внешней стороне (рис. 4). За счет свай уменьшаются вертикальные деформации здания. В ряду винтовых свай оставляется проем, через который, в дальнейшем, будет разрабатываться грунт на глубину подземного сооружения. В уровне подвального этажа устанавливаются фермы для восприятия изгибающих усилий от нагрузки стен здания. Для сцепления с монолитной плитой перекрытия по оголовкам свай возводятся монолитные ростверки с выпусками арматуры. Стены опираются в узлах ферм, при этом опоры ферм надежно сцеплены с монолитными ростверками и плитой. В уровне перекрытий наземной части здания устанавливаются дополнительные пояса усиления в виде железобетонной обоймы. После чего производится выемка грунта из-под здания и устройство подземного сооружения [6].

Также имеется еще один способ производства работ, который не относится к основным, а является разработанным для индивидуально конкретного здания и представляет собой «пионерный» метод строительства «сверху вниз» (рис. 5).

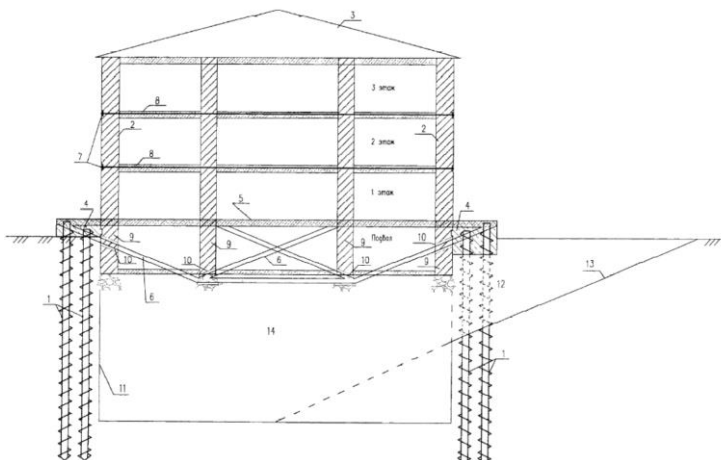


Рис. 4. Разрез конструкции подземного сооружения под реконструируемым зданием фракций: 1 – ряд свай; 2 – наружные стены здания; 3 – здание; 4 – ростверк; 5 – ж/б плита; 6 – стержни ферм; 7 – пояса усиления; 8 – перекрытия; 9 – стена подвала или цокольного этажа; 10 – отверстия для стержней ферм; 11 – объем подземного объекта; 12 – порталный проем; 13 – пандус; 14 – грунт



Рис. 5. «Пионерный» метод строительства «сверху вниз»

Для устройства дополнительного подземного этажа, предусмотрена последовательность работ, представленная на рис. 6.

Разработка котлована осуществляется поярусно, с последующем возведением в центре котлована «пионерной» фундаментной плиты, которая служит в том числе для фиксации распорной системы [7].

Для устройства переопирания несущих стен рекомендовано применять грунтоцементные сваи (по технологии Jet). Применение этой технологии в данной ситуации обусловлено выполнением работ в условиях плотной застройки, а также отсутствие негативного ударного воздействия на близко расположенные здания и сооружения.

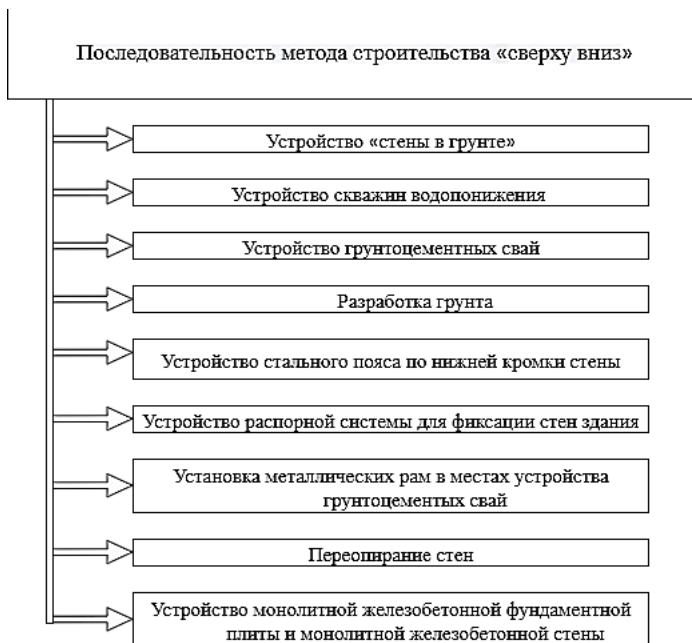


Рис. 6. Схема «пионерного» метода строительства «сверху вниз»

Среди примеров внедрения технологий за период 2020-2025 гг. следует отметить:

- проект «One Za'abeel» (Дубай, 2023 г.). Сроки сокращены на 14 мес (с 62 до 48 мес) благодаря параллельному монтажу подземных и надземных этажей;
- жилой комплекс «Небо» (Москва, 2022 г.). Ввод в эксплуатацию на 8 месяцев раньше плана;
- строительство Lakhta Center 2 (Санкт-Петербург, 2025 г.). Снижение затрат на 15-25 % за счет минимизации аренды техники (краны работают одновременно на разных уровнях) и отсутствия простоев (нет пауз между циклами). Экономия составила 2,8 млрд рублей из бюджета в 12 млрд руб. [8].

Главными параметрами для выбора технологии строительства являются: глубина котлована (H) (до 10 м – открытые; 10-25 м – top-down; >25 м – поярусный); уровень грунтовых вод (U_{gw}) (при $U_{gw} > 0,2$ МПа обязательна водозащита (замораживание или цементация)); расстояние до зданий (L) (при $L \leq 10$ м – открытые методы неприменимы); количественные показатели: top-down дороже bottom-up на 25-30 %, но снижает осадки на 65-70 %. В тоже время поярусный метод трудоемок (рост трудозатрат на 20 %), но безопасен до глубины 40 м.

Изучение данного вопроса позволило сделать выводы о перспективных направлениях совершенствования технологий возведения дополнительных подземных этажей таких как:

- разработка алгоритмов выбора технологии с использованием BIM и цифровых двойников;
- апробация 3D-печати бетонных элементов для несъемной опалубки подземных сооружений [8];
- применение искусственного интеллекта для прогнозирования осадок и риска деформаций;
- моделирование устойчивости котлованов в Plaxis, GeoStudio с последующей верификацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л. А. Современные технологии в строительстве / Л. А. Сулейманова, И. А. Погорелова, И. С. Рябчевский. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – 180 с.
2. Кочерженко В. В. Технология, организация и механизация строительного производства учебное пособие для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения направления подготовки 08.03.01 - Строительство профиля подготовки "Промышленное и гражданское строительство" / В.В. Кочерженко, Е.С. Глаголев, А.В. Кочерженко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 292 с
3. Фадеев А.Б. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве / А.Б. Фадеев, В.Н. Теличенко- М.: АСВ, 2005. – 354 с.
4. Петрухин В.П., Колыбин И.В., Разводовский Д.Е. Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений. [электронный ресурс] - URL: <http://www.eccpf.com/upload/publikazii/Ograzhdenija%20kotlovanov.pdf>.
5. Ербахаев В.О. Методы возведения подземных зданий и сооружений. Поярусный способ / В.О. Ербахаев // Вестник ИргТУ. - 2014. - № 5(88). - С. 112-118.
6. Фундамент реконструируемого здания: пат. 2431718 Рос. Федерации / Галиев И.Х. №2010140599/03 [электронный ресурс] - URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002431718_20111020_C1_RU/
7. Никифорова Н.С. Технология строительства подземных сооружений [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Н.С. Никифорова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, НИУ МГСУ, кафедра механики грунтов и

геотехники. - Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. – 51 с.

8. Технология 'top & down' в современном строительстве: история, принципы и актуальные кейсы 2020-2025 гг./ ООО «Инженерное бюро Юркевича» [электронный ресурс] - URL: <https://yurkevich.pro/top-down>.

9. Сулейманова Л. А. Особенности применения 3D-печати в строительстве / Л. А. Сулейманова, Н. А. Атапина // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства. Том 2. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 48-53.

**Котенев А.Н., магистрант,
Левшин Д.Э., студент**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
Сулейманова Л.А.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВНЕДРЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В ПРОЦЕСС СТРОИТЕЛЬСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЯХ

Современные мегаполисы сталкиваются с хронической нехваткой свободных территорий для нового строительства. Рост плотности застройки и ограниченность площадок особенно остро ощущаются в центральных районах городов с исторической архитектурой, где расширение зданий невозможно по градостроительным или культурным соображениям. В этих условиях все более востребованным направлением становится освоение подземного пространства – устройство дополнительных подземных этажей под существующими зданиями.

По данным международных исследований, вовлечение подземных уровней позволяет увеличить полезные площади объектов на 25-40 % без изменения архитектурного облика. В Москве за последние два десятилетия построены десятки торгово-развлекательных комплексов и паркингов с использованием технологий «top-down» и «стена в грунте». Однако данные методы отличаются высокой стоимостью, трудоемкостью и продолжительными сроками реализации.

Одним из решений, способных принципиально изменить парадигму подземного строительства, является внедрение аддитивных технологий. 3D-печать в строительстве развивается с начала 2000-х годов и уже вышла за рамки экспериментальных проектов. Сегодня компании Apis Cor

(Россия/США), WinSun (Китай), COBOD (Дания), Batiprint3D (Франция) реализовали десятки объектов жилого и общественного назначения. Темпы роста мирового рынка строительной 3D-печати оцениваются в 20-25 % ежегодно. Вместе с тем вопрос применения 3D-печати именно для устройства подземных этажей остается практически неизученным. Подземные условия диктуют повышенные требования к применяемым материалам: водонепроницаемость $\geq W10$, морозостойкость F200-F300, прочность ≥ 40 -60 МПа, адгезия между слоями, химическая стойкость к агрессивным грунтовыми водам. В терминах печати – баланс экструдиремости, настраиваемой тиксотропии и несущей способности неотвердевшего столба слоев, что требует научного анализа [1, 2].

На сегодня в России запатентовано свыше 100 сложных составов цементной смеси.

Такое количество составов цементной смеси, обусловлено требованиями к реологическим свойствам цементного раствора, подаваемого через сопло. Цементная смесь должна быть стабильна в процессе производства работ вне зависимости от температуры и влажности воздуха.

В таблице 1 [3] приведены рекомендации по применению строительных материалов для 3D-печати при возведении подземных этажей.

Таблица 1

**Рекомендации по применению строительных материалов
для 3D-печати при возведении подземных этажей**

Состав	Прочность (МПа)	Водонепроницаемость	Особенности	Применимость в подземных этажах
Цементно-песчаная	40-50	W8-W10	Простота, доступность	Базовые стены, перегородки
Геополимер	50-65	W12-W14	Долговечность, экология	Влажные зоны, подпорные элементы
Фибробетон	45-60	W10-W12	Трещиностойкость	Перегородки с проемами
Композит с полимером	40-55	$\geq W14$	Высокая адгезия	Гидроизоляционные элементы

Для внедрения полномасштабного автоматизированного строительства в технологии 3D-печати необходима разработка многокомпонентных смесей, основанная на современных подходах к регулированию свойств бетонов за счет точного выбора природного и техногенного минерального сырья, а также органических добавок [4, 5].

Лидерами в разработке по этому направлению являются следующие ВУЗы:

– Воронежский государственный технический университет. Проблемы создания композитов, исследования их технологических и эксплуатационных свойств, управление режимами печати [6, 7].

– Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова. Разработка 3D-принтера, отличающегося оригинальной системой экструзии и укладки смесей; разработка полимер-минеральных модификаторов вязкости и смесей на их основе. МГСУ и БГТУ им. Шухова ведут исследования по печати бетонных смесей с повышенной водонепроницаемостью, что является важным при устройстве подземных этажей [8-10].

– Казанский архитектурно-строительный университет. Технологии изготовления различных неармированных и армированных печатных изделий на 3D-принтере [11, 12].

Применение аддитивных технологий позволяет снизить сроки и стоимость строительства, металлоемкость монолитных конструкций. В табл. 2 приведено сравнение между традиционными методами и аддитивными технологиями.

Таблица 2

Сравнение между традиционными и аддитивными технологиями

Критерий	Традиционные методы	3D-печать
Сроки строительства	12-18 мес	8-12 мес
Риск осадок	средний-высокий	снижен благодаря точности печати
Экологичность	отходы бетона 20-30 %	5-10 %
Архитектурная гибкость	ограниченная	высокая
Энергоемкость	высокая	ниже на 10-15 %
Требования к кадрам	традиционные профессии	новые: оператор печати, BIM-инженер
Интеграция инженерных систем	вторично	при печати
Материалоемкость	значительная	снижена на 20-25 %
Нормативная база	отработанная	отсутствует (нужны ТУ, ГОСТ)

В отличие от традиционных методов («сверху вниз», поярусный, «стена в грунте»), 3D-печать обеспечивает:

– сокращение сроков строительства на 50 %, за счет исключения процессов монтажа и демонтажа опалубки;

– снижение трудозатрат на 80 %, благодаря высокой степени автоматизации;

– уменьшение объемов отходов бетона на 60-70 %, что отвечает современным требованиям экологичности;

- архитектурную гибкость, позволяющую проектировать конструкции сложной геометрии в условиях ограниченного подземного пространства;

- повышение качества возведения инженерных систем, которые могут быть интегрированы в конструкцию еще на стадии печати.

подавляющее большинство напечатанных объектов делятся на две категории:

- малоэтажное строительство. Возведение одноэтажных жилых домов по индивидуальным проектам и массовой застройки площадью 40–200 м² непосредственно на строительной площадке. Наиболее значимые проекты печати домов реализованы компаниями ICON (США), Contour Crafting (США), WinSun (Китай);

- объекты функционально-декоративного назначения. К таким объектам относятся элементы городской инфраструктуры, а также элементы декора фасадов. Их производство реализовано Branch Technology (США), Contour Crafting (США), Bruiil (Нидерланды).

При анализе научных исследований по сегменту строительства установлено, что применение аддитивных технологий при возведении дополнительных подземных этажей в существующем здании, не выявлено. Соответственно технологии 3D-печати обладают значительным потенциалом в строительстве дополнительных подземных этажей в существующих зданиях. Их внедрение позволяет решить ряд критических задач, связанных с сокращением сроков строительства, уменьшением материалоемкости, снижением отходов, а также интеграцией инженерных систем на стадии возведения конструкций [13, 14].

Перспективные направления развития аддитивных технологий является следующее:

1. Разработка нормативно-технической базы для проектирования и расчета печатных подземных конструкций.

2. Экспериментальные исследования свойств геополимерных и фибробетонных смесей с повышенной водонепроницаемостью.

3. Интеграция технологий цифровых двойников (Digital Twin) и BIM для управления жизненным циклом печатных подземных объектов.

4. Математическое моделирование осадок и деформаций печатных конструкций в программных комплексах Plaxis и Ansys.

5. Создание пилотных проектов печатных подземных этажей в российских условиях, с оценкой их экономической и эксплуатационной эффективности.

6. Автоматизация и роботизация строительных процессов, отказ от опалубки.

Таким образом, 3D-печать в подземном строительстве является не только перспективной технологией, но и важным элементом перехода к новому этапу индустриализации строительной отрасли. Ее успешное

внедрение потребует междисциплинарного подхода, объединяющего строительные науки, материаловедение, цифровые технологии и нормативное регулирование

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Т.К. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. №7 (118). С. 863-876.

2. Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С., Зыкова В.В., Карпеня А.Н., Ким А.А., Финашенков Е.А. 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №1 (52). С. 27-46.

3. Tao Ya., Yuan Y. 3D concrete printing for tunnel linings: Opportunities and challenges // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. Vol. 1333, No. 1.P. 012039. DOI 10.1088/1755-1315/1333/1/012039.

4. Погорелова И.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Применение сверхэффективных бетонов// Научные технологии и инновации: сб. докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 133-137.

5. Елистраткин М.Ю., Когут Е.В., Вырмаскин А.В., Белашова А.Н., Джамиль А.Н., Аль-Бу-Али У.С.Д. Разработка методики оценки пригодности смесей для строительной печати // Теоретические основы создания эффективных композитов: сб. материалов Российской онлайн-конференции, посвященной Дню науки. 2018. С. 98-104.

6. Славчева Г.С. Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации // Строительные материалы. 2021. № 5. С. 28-36.

7. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Разработка принципов создания армированных композитов для строительных 3D-аддитивных технологий // Строительные материалы. 2022. № 12. С. 52-58.

8. Агеева М.С., Матюхина А.А., Никулина А.С. Аддитивные технологии- эпоха инноваций в строительстве // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 57-61.

9. Глаголев Е.С., Каминский В.И., Мищенко А.С., Шаталова С.В., Дребезгова М.Ю. Перспективы 3D аддитивных технологий в строительстве малоэтажных зданий // Фундаментальные основы строительного материаловедения»: Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 229-235.

10. Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шапиро А.Э. Геоника. Геомиметика и аддитивные технологии //Научные технологии и инновации: эл. сб. докладов Международной научно-практической

конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 121-124.

11. Мухаметрахимов Р.Х., Горубнова П.С. Роль дисперсного армирования в формировании технологических и реологических свойств бетонных смесей для строительной 3D-печати // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: Сборник статей международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2019. С. 270-274.

12. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (42). С. 350-359.

13. 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.

14. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А. Аддитивные технологии в строительстве // Учеб. пособие: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. 227 с.

**Кочерженко А. А., магистрант,
Пашков Г.А., магистрант,
Половченя Е.М., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, проф.
Кочерженко В. В.**

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

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ

По конструктивным решениям купола делятся на ребристые, ребристо-кольцевые и сетчатые. Сетчатые купола схожи со структурными конструкциями, поэтому и технология их устройства весьма схожа.

Современные конструктивно-технологические решения сетчатых куполов определяются следующими факторами: системой разрезки, узловатыми соединениями стержней и технологией их возведения [5, 6]. Рассмотрим подробно эти факторы.

Создание в конце 19 века металлических куполов Фешля и Шведлера, скомпонованных на основе радиально-кольцевой системы, но со связями в каждой ячейке, ограниченной соседними ребрами и

кольцами, ознаменовало появление нового конструктивного типа куполов, которые впоследствии были названы сетчатыми.

Купол Фелля представляет собой статически определимую систему, причем только при нечетном числе сторон система геометрически неизменяема [1].

Купол Шведлера представляет собой так же статически определимую систему (при открытом кольце в вершине) (рис. 1).

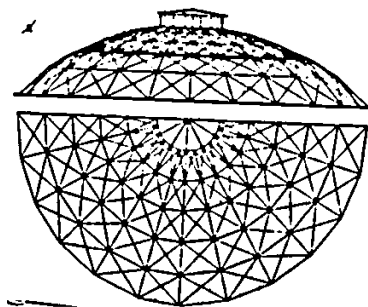


Рис. 1. Купол Шведлера

Сетчатые купола являются наиболее экономичными по расходу материала купольными конструкциями вследствие пространственной работы каркаса и равномерности распределения материалов по поверхности оболочки.

Для оболочек вращения очень часто за основу принимаются меридионально-кольцевая система разрезки. Суть этой системы заключается в членении поверхности вращения межрадиальными и параллельными плоскостями на треугольные (у полюса) и трапециевидные элементы. Число типоразмеров треугольных и трапециевидных элементов при этой системе разрезки определяется числом ярусов между параллельными сечениями и не зависит от числа меридиональных сечений, а также от формы меридиональной образующей кривой (рис. 2).

В звездчатой системе обнаруживаются две разновидности сетей: правильная сеть Чебышева и сеть локсодромная. В звездной системе с применением сети Чебышева длина стержней вдоль линий сети постоянна, хотя изменение углов между стержнями приводит к тому, что число узловых элементов равно числу ярусов. Рои локсодромной разрезке, наоборот, узловые элементы могут быть одного типоразмера, а число типоразмеров стержней, расположенных вдоль синей сети, может быть равно числу ярусов (рис. 3).

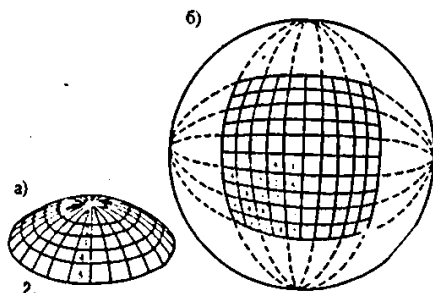


Рис. 2. Меридионально кольцевая разрезка (а) и разрезка сферы двумя пучками меридиональных плоскостей с взаимоперпендикулярными осями (б)

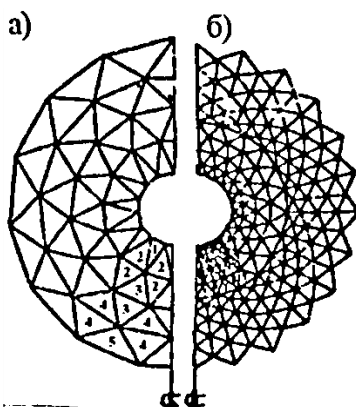


Рис. 3. Звездчатая система: а – на основе сети Чебышева; б – на основе сети локсодромий

Сетчатая система Кайвитта устраняет основной недостаток звездчатой системы – сгущение сетки. Первичная разбивка меридиональная. Основание каждого полученного сектора делится на определенное количество равных участков, а затем проводятся кольцевые сечения. Число которых равно числу членений основания. Каждое кольцевое сечение делится на равные части, число которых в каждом последующем сечении, считая от основания сектора, уменьшается на единицу. (рис. 4).

Сущность системы «Ромб-1» заключается в первичном меридиональном делении купола [2, 4], на сектора с последующим членением каждого сектора на ромбовидные ячейки путем нанесения правильной сети Чебышева. Система «Ромб-1» применена, в частности, при проектировании купола диаметром 65 м в Душанбе (рис. 5).

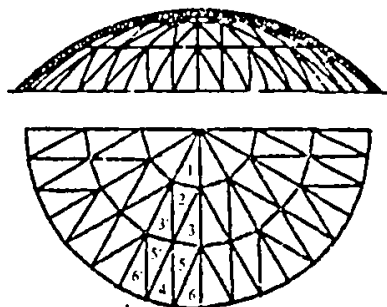


Рис. 4. Система Кайвитта

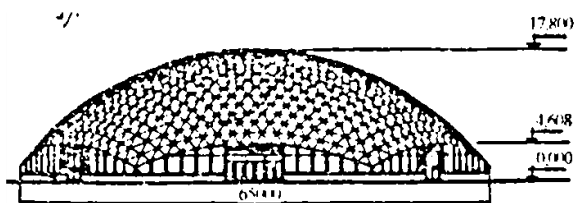


Рис. 5. Купол диаметром 65 м в Душанбе. Разрезка системы «Ромб-1»

Следующий фактор, оказывающий влияние на рациональные конструктивно-технологические решения возведения сетчатых куполов – узловые соединения различных систем [3]. В сетчатых куполах стержни каркаса незначительно отличаются по длине, имеют малый разброс расчетных усилий и поэтому могут быть запроектированы одного сечения. Однако стержни сетчатых оболочек в каждом из узлов имеют различную пространственную ориентацию.

Хорошим решением узла для сетчатых сферических куполов является соединение типа «ИФИ» (рис. 6) [2].

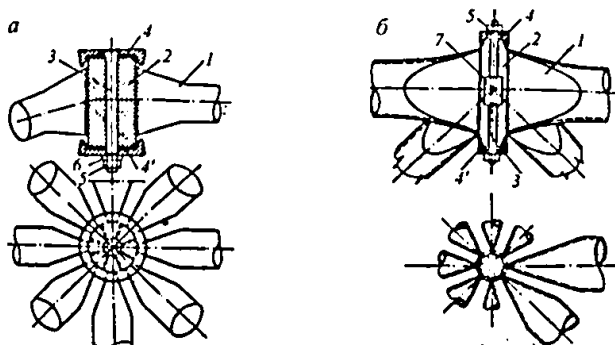


Рис. 6. Узловое соединение системы «ИФИ»: а – основной вариант; б – вариант с дополнительным вкладышем

В этом узловом соединении каждый стержень имеет сплюсненные концы, к которым приварены клиновидные наконечники. При сборке наконечники образуют в узле составной цилиндр, фиксируемый с помощью двух штампованных крышек и стяжного болта. Такое конструктивное решение обеспечивает соединение различного числа стержней независимо от их взаимного расположения. Недостатком является изготовление всех элементов конструкции с точностью, принятой в машиностроении, которая в 5...10 раз превышает обычную точность изготовления строительных металлоконструкций.

Третий фактор, оказывающий влияние на рациональные конструктивно-технологические решения возведения сетчатых куполов – технология возведения сетчатых куполов. Разработаны следующие методы монтажа сетчатых куполов:

- на сплошных лесах поэлементно;
- с использованием отдельных опор, на которые опираются предварительно укрупненные конструкции;
- метод подрачивания от центра к контуру с постепенным подъемом собранной части конструкции;
- монтаж последовательными концентрическими кольцами;
- монтаж блоками.

Очевидно, выбор национального метода возведения сетчатого купола необходимо проводить с учетом 3-х групп факторов: системы разрезки сетчатого купола, характер узловых соединений и технологией его возведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рюле Г. Пространственные покрытия. Т.2. М.: Стройиздат, 1974.
2. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1983.
3. Липницкий М.Е. Купола. Л.: Стройиздат, 1973.
4. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. М.: Стройиздат, 2008.
5. Тур В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности: Учебное пособие. – М.: Издательство АВС, 2004. – 96 с.
6. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В. Технология и организация возведения большепролетных зданий и сооружений: Учебное пособие. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – 134 с.
7. Кочерженко А.А. Совершенствование организационно-технологических решений возведения сборных железобетонных оболочек двоякой положительной кривизны. IX Международный студенческий строительный форум – 2024: сб. докл.: - Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. – 438 с.

Кочерженко А. А., магистрант,
Пашков Г.А., магистрант,
Половченя Е.М., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, проф.

Кочерженко В. В.

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

ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ГОРОДАХ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ

Большинство городов в Российской Федерации развиваются не только «вширь» и «вверх», но и «вниз» с раскрытием возможностей подземного пространства. В большинстве случаев подземные сооружения, несмотря на значительные затраты при их возведении, являются наиболее оптимальным решением многих вопросов функциональности города [1-3].

В современной градостроительной практике прослеживается тенденция более рационального использования пространства и уплотнения существующей застройки. Поэтому развитие многих крупных городов происходит ввысь и в глубину без расширения границ. Это потребовало разработки и внедрения в строительную практику эффективных методов освоения подземного пространства городов со сложным рельефом. Город Белгород имеет весьма сложный рельеф: крутые склоны оврагов, холмы и другие перепады высот.

В БГТУ им. В.Г. Шухова разработан способ возведения многоэтажного здания на крутом склоне оврага. Была разработана схема освоения крутого склона оврага с использованием железобетонной подпорной стенки, возведенной способом «стена в грунте» (рис. 1, 2) [4, 5].

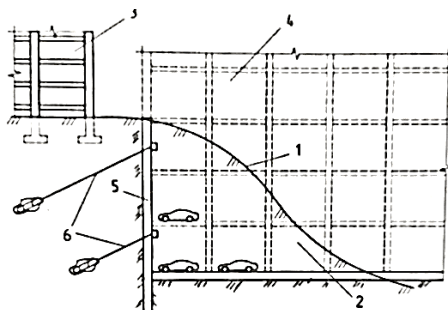


Рис. 1. Схема освоения крутого склона оврага с использованием железобетонной подпорной стенки, возведенной способом «стена в грунте»: 1 – склон оврага; 2 – подземная часть здания; 3 – надземное многоэтажное здание; 4 – надземная часть здания; 5 – подпорная стена, возведенная способом «стена в грунте»; 6 – грунтовые анкера



Рис. 2. Подпорная стенка, возводимая способом «стена в грунте» (в процессе строительства)

Под защитной подпорной стенкой возвели многоэтажное каркасно-монолитное здание, в котором располагается деловой центр «Панорама» (рис. 3).



Рис.3. Многоэтажное здание делового центра «Панорама» в г. Белгороде, возведенное на крутом склоне оврага под защитой подпорной стенки

Как показывает анализ строительства на крутых склонах оврагов оно обладает следующими достоинствами:

- повышение плотности застройки;
- получение дополнительных помещений в подземной части;
- сокращение потерь тепла через стены;
- сокращение расходов на наружный косметический ремонт.

Однако этот вид строительства имеет недостатки [1]:

- необходимость создания надежной гидроизоляции;
- устройство систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях, расположенных над поверхностью грунта;

– сложность удаления сточных вод.

По технико-экономическим и социальным показателям преимущества подземного строительства оказываются более весомыми и приемлемыми по сравнению с техническими трудностями по преодолению их недостатков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харитонов В.А. Подземные здания и сооружения гражданского и промышленного назначения. Учебное пособие. - М.: Издательство ABC, 2008. – 256 с.

2. Келеен Я., Вайда З. Город под землей / Перевод с венгерского. С.С. Попова – М.: Стройиздат, 1985. – 248 с.

3. Крогиус В.Р. Градостроительство на склонах. - М.: Стройиздат, 1988. – 328 с.

4. Кочерженко В.В. Технология возведения подземных сооружений. Учебное пособие. – М.: Издательство ABC, 2000. – 128 с.

5. Ивахнюк В.А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений. – М.: Издательство ABC, 1999. – 298 с.

6. Кочерженко А.А. Подземная урбанистика и перспективные методы возведения подземных и заглубленных сооружений в современных городах // VI Международный студенческий строительный форум – 2021: сб. докл.: в 2 т. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. – Т.1. – 220 с.

Ларин Д.А., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, проф.

Кочерженко В.В.

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

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОБЛЮДЕНИЮ НОРМ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТРОЙГЕНПЛАНА

В современных реалиях строительный генеральный план больше не является просто схемой расстановки кранов и бытовок. На сегодняшний день – это стратегический документ, определяющий экологическую репутацию застройщика, возможные штрафные санкции и их размер, а также скорость реализации проекта. В статье рассматривается новая парадигма разработки стройгенплана, где

требования охраны окружающей среды не являются формальным приложением, а интегрированы в операционное планирование.

Экология – это новая экономика строительства. И вызвано это тем, что затраты на ликвидацию экологического ущерба, судебные иски и простои из-за приостановки действий разрешительной документации многократно превосходят инвестиции в превентивные меры на этапе проектирования. Стройгенплан, разработанный с учетом норм охраны окружающей среды, – это не формальность, а инструмент управления рисками и оптимизации затрат.

Современный стройгенплан основывается на принципе минимизации воздействия на окружающую среду по следующим ключевым векторам [5].

Вектор 1. Снижение выбросов загрязняющих веществ и пыли.

Прокладка временных дорог по наименее пылящему маршруту, планирование точек «мокрых» зон для регулярного полива трасс в жаркий период.

Выделение на плане зон с разной степенью пылеобразования (красная – отвалы грунта, склады песка; желтая – грунтовые дороги; зеленая – зона офисных помещений). Это позволяет точно применять меры подавления.

Планирование стоянки дизельной техники и генераторов с подветренной стороны для жилой застройки с использованием существующих зданий или рельефа как естественного барьера.

Вектор 2. Недопущение загрязнения водных объектов и грунтовых вод.

Технология «замкнутого цикла» водооборота. Очищенная вода может использоваться для технических нужд при строительстве, что снижает водопотребление.

Четкое обозначение на плане изолированных площадок с твердым покрытием и бортовыми элементами для всех операций с жидкими материалами (приемные емкости для бетона, промывка барабанов миксеров), что предотвращает растекание и инфильтрацию загрязнений в почву.

Вектор 3. Рациональное использование земель, обращение с отходами.

Создание на стройгенплане «ресурсного хаба» – зона сортировки и первичной переработки отходов. Например, размещение мобильного дробильно-сортировочного комплекса для переработки ЖБИ отходов, с целью получения вторичного щебня для отсыпки дорог [3].

Динамический план рекультивации, предполагающий разработку поэтапного плана использования плодородного грунта. Так, часть

грунта может использоваться для временного озеленения периметра площадки уже в ходе строительства, снижая пыление и улучшая эстетику [4].

Вектор 4. Охрана растительного и животного мира.

Сезонное зонирование работ в случае расположения стройплощадки вблизи границ природных территорий. Пример, ограничение шумных работ в период гнездования птиц или выведения потомства у животных.

Максимальное сохранение существующих деревьев и кустарников, в том числе с целью использования их как естественного шумового и пылевого барьера. Нанесение их на стройгенплан как «буферных зеленых зон», огороженных физической защитой [1].

Среди инструментов эко-эффективного стройгенплана можно выделить следующие:

BIM-модель как симулятор воздействия. Современное информационное моделирование (BIM) позволяет симулировать влияние объекта строительства на окружающую среду. Благодаря данной модели можно заранее рассчитать распространение шума и пыли от работающей техники в зависимости от ее расположения, схему движения транспорта для минимизации пробега и холостого хода, тени от будущих зданий и конструкций для прогнозирования изменения микроклимата.

Цифровой двойник площадки. Использование геоинформационных систем (ГИС) и IoT-датчиков (Интернета вещей) позволяет создать цифровую копию стройплощадки. Датчики в режиме реального времени передают данные о шуме, качестве воздуха и вибрации, позволяя оперативно корректировать работу [2].

Таким образом, успешный строительный проект сегодня – это единство экономической целесообразности, технической грамотности и экологической ответственности. Стройгенплан, в который изначально заложена логика минимизации экологического вреда, становится ключом к достижению этой триады. Это уже не просто документ, а операционный план, который позволяет строить быстрее, дешевле и с чистой репутацией, превращая экологические обязательства из статьи расходов в инструмент конкурентного преимущества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев В. В. Экологическая безопасность в строительстве. – М.: Издательство АСВ, 2020. – 245 с. С. 20-22.
2. Гарнизов М. Е. BIM-технологии: информационное моделирование в экологическом проектировании строительства //

Тренды науки и образования в области строительства и экологии. – 2021. – № 3(45). – С. 56–64.

3. Истомова, А. А. Переработка и утилизация изделий из железобетона / А. А. Истомова, С. М. Есипов // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Белгород, 14 апреля 2021 года. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С.45-49.

4. Орлов С. С. Управление отходами строительства и сноса: современные подходы и технологии // Экология производства. – 2022. – № 5. – С. 34–41.

5. Теличенко В. И. Технология строительных процессов с основами экологической безопасности. – М.: Издательство МГСУ, 2018. – 312 с. С.5-7.

Левыкин Д.А., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Бовтеев С.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМЫ 3D-НИВЕЛИРОВАНИЯ

Современная дорожная отрасль России находится в состоянии конфликта: с одной стороны, беспрецедентные объемы государственного финансирования в рамках национальных проектов, а с другой – структурный кризис, усугубленный санкционным давлением 2022 г. Этот кризис проявляется в дефиците высокотехнологичной техники, острой нехватке квалифицированных кадров и сохраняющейся низкой производительности труда, унаследованной от традиционных технологий [1]. Организационно-технологические решения в дорожном строительстве, основанные на массовом использовании ручного геодезического труда и эмпирическом опыте машинистов, достигли своего потолка эффективности. Они характеризуются высокой долей человеческого фактора, ведущего к ошибкам, перерасходу материалов, частым переделкам и срыву установленных сроков [2], что недопустимо при непродолжительном строительном сезоне на дорогах.

В этих условиях цифровизация и автоматизация производственных процессов перестают быть преимуществом, а становятся базой для отраслевого выживания и развития. Одной из ключевых технологий,

кардинально меняющей процесс организации строительства линейных объектов, является 3D-нивелирование. Актуальность ее применения обусловлена необходимостью перехода к модели «строительства по цифровой модели», где дорожная техника точно «копирует» виртуальный проект в натуре, минимизируя участие человека в процессе производства работ [3].

В научной литературе вопросам применения 3D-нивелирования посвящены работы таких авторов, как Севастьянов П.Д. [4], Юдина Н.В. [5], Черевань М.Э. [6]. Однако степень исследованности организационных аспектов внедрения данной технологии, ее влияния на систему календарного планирования и контроля сроков остается недостаточной. Вместе с тем, для достижения своевременности выполнения строительно-монтажных работ необходимо четкое выполнение двух условий: наличие разработанного и утвержденного календарного графика, и обеспечение своевременного контроля его параметров [7].

Цель данного исследования – провести комплексный анализ применения систем 3D-нивелирования для совершенствования организационно-технологических решений в дорожном строительстве. Задачи работы включают: анализ существующих технических решений и их сравнительную характеристику; оценку преимуществ технологии на ключевых производственных этапах; технико-экономическое обоснование эффективности внедрения; выявление проблем импортозамещения и определение перспективных зон использования.

В результате проведенного обзора выявлено, что в основе технологии 3D-нивелирования лежит интеграция трех ключевых компонентов: цифровой модели местности (Digital Terrain Model – DTM), системы высокоточного позиционирования и исполнительных механизмов дорожной техники. Цифровая трехмерная модель дороги создается в специализированных САПР и загружается в бортовой компьютер машины [8]. В текущих реалиях, характеризующихся уходом иностранных разработчиков ПО, особое значение придается возможности использования отечественных продуктов, совместимых с системой 3D-нивелирования: Credo 3D, IndorCAD, Renga Civil.

Позиционирование техники и ее рабочего органа в реальном времени осуществляется с помощью двух основных типов систем. Глобальные спутниковые системы (GNSS) используют сигналы GPS/ГЛОНАСС и обеспечивают точность 2-3 см в режиме RTK. Перспективным направлением считается метод PPP-RTK (Precise Point Positioning), позволяющий достигать точности 2-4 см без необходимости развертывания локальной базовой станции [5].

Локальные системы позиционирования (LPS), основанные на использовании роботизированных тахеометров, обеспечивают высочайшую точность (до ± 1 см), но имеют ограниченный радиус действия (до 500 м) [8].

Сравнительный анализ методов позиционирования показал, что выбор между GNSS и LPS определяется требованиями проекта и экономической целесообразностью. GNSS-системы обладают большим радиусом действия (до 4 км) и могут обслуживать целый парк техники, что делает их более предпочтительными для земляных работ и планировки. LPS обеспечивают высочайшую точность и рекомендуются для финишных планировочных работ и укладки верхних слоев асфальта, где критична точность до 1 см.

Санкционное давление актуализировало поиск альтернатив западному оборудованию (Trimble, Leica, Topcon). На рынке сформировались жизнеспособные альтернативы: китайские системы от CHCNAV (модель TG63) и FJDynamics (модель H36) стоимостью 2,6-3,5 млн руб. при заявленной точности ± 3 мм, а также белорусская система «Сауро» как наиболее бюджетное решение (около 400 тыс. руб.) [6]. Стратегически важным является развитие собственной системы «Кировец» для одноименного автогрейдера, что позволяет создать полностью локализованный технологический комплекс [8]. Ниже представлен общий вид автогрейдера «Кировец К-714».



Рис. 1. Автогрейдер Кировец К-714

Внедрение 3D-нивелирования кардинально меняет организацию работ на ключевых этапах строительства. Оборудованный системой автогрейдер превращается в высокоточный самостоятельный инструмент, который не только обеспечивает технологическое преимущество над традиционным методом, но и позволяет вести

работы круглосуточно (при сменном графике) при сравнительно меньшей подготовке стройплощадки. Это позволяет исключить разбивочные геодезические работы и эффективно работать в стесненных условиях [4].

Яркой иллюстрацией эффективности является опыт ООО «Иркутская нефтяная компания» при реконструкции участка федеральной автодороги А-331 «Вилуй». Применение технологии позволило выполнить участок длиной 1,3 км за 20 календарных дней силами 1 дорожного мастера и 3 единиц техники, в то время как подрядная организация с традиционными методами (13 ИТР и 17 единиц техники) работала около года на аналогичном объекте [4].

Экономическая целесообразность внедрения систем 3D-нивелирования подтверждается прямыми расчетами. На участке дороги длиной 10 км и шириной 9 м экономия асфальтобетона за счет точного выведения проектных отметок составляет 2700 м³, что в денежном выражении равно 6,75 млн руб. Сокращение штата ИТР на 12 человек дает экономии 5,76 млн руб. за 6 месяцев проекта. При стоимости внедрения 3 комплектов системы 8,4 млн руб., инвестиции окупаются на одном объекте среднего масштаба [3].

Технология является стандартом для строительства автомагистралей в Европе, США и Китае, где она интегрирована в сквозные BIM-циклы. В России компании-лидеры, такие как «Автобан» (строительство трассы М-12, ЦКАД, «Обход Тольятти»), активно и успешно внедряют эти системы, что позволяет им выполнять масштабные проекты в сжатые сроки с высочайшим качеством, соответствующим общемировым тенденциям. На рисунке 2 представлен участок строительства объекта «Обход Тольятти» с применением автогрейдера Volvo G946, оборудованного 3D-системой нивелирования Leica.



Рис. 2. Строительство трассы «Обход Тольятти»

Применение систем 3D-нивелирования является ключевым фактором трансформации организационно-технологических решений в дорожном строительстве, позволяя перейти от архаичных методов к управляемому и предсказуемому производству.

Достигается прорыв в производительности: скорость выполнения планировочных работ увеличивается в 3 раза, а сроки реализации проектов сокращаются при значительном снижении трудозатрат.

Обеспечивается существенная ресурсная экономия: снижение расхода инертных материалов на 10-15 % и кардинальное сокращение влияния человеческого фактора на качество работ.

В условиях импортозамещения сформировался рынок доступных решений для всех стадий использования технологии: актуальные платформы для проектирования (Credo 3D, IndorCAD, Renga Civil) и оборудование (CHCNAV, FJDynamics, Сауро, Кировец), делающий технологию доступной для широкого круга подрядных организаций.

Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке комплексных организационно-технологических регламентов внедрения, адаптации нормативной базы и создании методик интеграции 3D-нивелирования в системы календарного планирования и контроля сроков строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пешков В.В., Алексанин И.А. Разработка организационно-технических решений на этапе капитального ремонта жизненного цикла объекта строительства с использованием возможностей его цифровой модели // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2(41). С. 196-205.

2. Максимычев О.И. Концепция автоматизированной системы управления дорожно-строительными работами // Автоматизация и управление в технических системах. 2015. № 1(13). С. 80-91.

3. Севастьянов П.Д., Казаков А.В., Матвеева М.В., Пешков А.В. Развитие систем автоматизированного управления на этапе строительства (на примере линейных объектов) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 324-335.

4. Юдина Н.В., Гиенко Е.Г. Анализ применения дифференциальных методов ГНСС при строительстве автомобильных дорог // Известия вузов. 2023. Т. 15. № 2. С. 281-287.

5. Черевань М.Э., Федосеенко Н.И., Картыгин А.В. Повышение эффективности дорожно-строительной техники установкой ГЛОНАСС устройств // Молодежный вестник НФ БГТУ. 2025. Т. 05. № 01. С. 25-36.

6. Бовтеев С.В., Фролова И.В. Методика отслеживания и контроля выполнения строительно-монтажных работ // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2025. № 2(11).

7. Вдовиченко В.Д. Технология 3D-нивелирования для геодезического обеспечения строительства дорог // Сборник научных трудов. М.: МИИГАиК, 2024.

8. Первый автогрейдер Кировец К-714 от Петербургского тракторного завода: Презентация компании. СПб.: ПТЗ, 2024.

Малкина О.А., магистрант

**Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
Ткач Е.В.**

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

О НЕОБХОДИМОСТИ БЛАГОУСТРОЙСТВА ЗОН ОТДЫХА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

На сегодняшний день в нашей стране происходит стремительное развитие транспортный системы на фоне стратегического планирования совершенствования внутреннего туризма [1,2]. Правительством РФ в 2024 г. утвержден документ планирования «Концепция развития автомобильного туризма в Российской Федерации на период до 2035 года», в котором поставлены задачи, направленные на создание сети туристских автомобильных маршрутов (в том числе соединяющих Санкт-Петербург с Владивостоком) с сопутствующими формированием и модернизацией инфраструктуры автомобильных дорог для повышения безопасности участников дорожного движения и качества обслуживания [3].

Неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры являются объекты дорожного и придорожного сервиса: они выполняют ключевую роль в постоянном функционировании автодорожного комплекса.

К таким объектам относятся станции технического обслуживания, автозаправочные станции, автостоянки, автостанции, автовокзалы, пункты питания (кафе, столовые, рестораны), площадки для отдыха, площадки обзорные, гостиницы (мотели), кемпинги [4]. Данные элементы также включаются в состав многофункциональных комплексов сервиса (многофункциональные зоны дорожного сервиса).

В статье будут рассмотрены зоны отдыха (рекреационные зоны) в составе площадок отдыха как самостоятельных объектов.

Одним из факторов, влияющих на безопасность участников дорожного движения, является самочувствие водителя. Отмечается увеличение риска возникновения дорожно-транспортных происшествий при совершении дальних поездок, причиной которых служит переутомление и последующие снижение концентрации, сонливость у водителя [5-7]. Неудовлетворительное состояние водителей возникает ввиду следующих аспектов:

- отсутствие своевременного отдыха;
- наличие монотонной обстановки (однообразный ландшафт, движение автомобиля на постоянной скорости).

Приемлемым решением проблемы является кратковременная или длительная остановка на площадках отдыха, однако многие участники дорожного движения, относящиеся к группе туристов, пренебрегают данной возможностью. Одна из причин подобного решения может заключаться в отсутствии привлечения внимания существующими площадками отдыха: они могут быть не обустроены санитарными зонами или пунктами питания, у них может отсутствовать точка обзора на живописный ландшафт. Выбор объекта сервиса туристами определяется преимущественно по визуальным ощущениям: люди предпочитают оборудованные места для отдыха при длительных путешествиях, также их больше привлекают эстетическое оформление объектов [8].

Рассмотрим автомобильную дорогу федерального значения Р-297 «Амур» Чита - Невер - Свободный - Архара - Биробиджан - Хабаровск (Подъезд к г. Благовещенск), длина участка составляет 124 км, технические категории II, III. По данным картографического сервиса 2ГИС на участке располагается четыре площадки отдыха. В качестве примера приводятся два объекта: площадки отдыха с зоной технического осмотра и с пунктом питания и торговли, их состояние представлено на рис. 1 и 2 соответственно. Можно заметить частичное соблюдение нормативных требований: наличие парковок и мусоросборников. Однако во всех приведенных случаях нет базового обустройства, которое определяет ключевое назначение данного типа объекта сервиса: отсутствуют столы и скамейки для отдыха и приема пищи, туалеты. Также стоит отметить о нелогичности зонирования территорий. Помимо отсутствия зоны отдыха, не наблюдаются пешеходные связи санитарных зон с дополнительными допускаемыми зонами (технического обслуживания, питания и торговли), то есть пользователи вынуждены передвигаться в зоне стоянки.

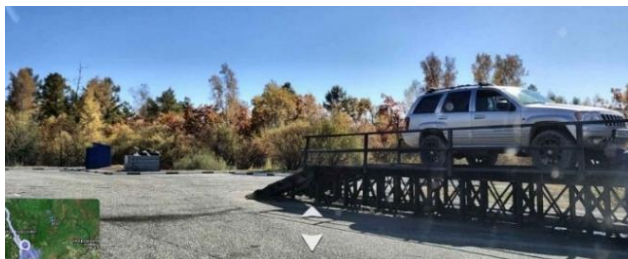


Рис. 1. Площадка отдыха с зоной технического осмотра
(источник изображения: <https://yandex.ru/maps>, дата обращения 01.11.2025)



Рис. 2. Фотофиксация площадки для отдыха с объектом питания и торговли (источник изображения: <https://yandex.ru/maps>, дата обращения 01.11.2025)

Таким образом, рассмотренные объекты придорожного сервиса с малой вероятностью привлекают участников дорожного движения ввиду отсутствия минимального благоустройства.

Существующая нормативно-техническая документация, регламентирующая проектирование дорожных и придорожных объектов сервиса, больше направлена на обозначение расстояний между объектами одного вида и их минимального и допустимого состава с указанием расчетных характеристик.

Появляется необходимость в совершенствовании подхода в формировании планировочных решений при проектировании зон отдыха в составе площадок отдыха. Можно предложить несколько проектных решений по благоустройству.

Во-первых, в минимальные требования строит включить наличие пешеходных связей между зонами, то есть пешеходных дорожек, и зеленых островков между основной дорогой и объектом сервиса, также между зонами в границах площадки отдыха в целях обеспечения безопасности пользователей от воздействия движения автотранспортных средств и повышения эстетической привлекательности объекта.

Во-вторых, следует осуществлять посадку различных видов растительности, пригодных для местных условий, в качестве экологического «барьера» от санитарной зоны и автомобильной дороги для повышения комфорта прибывания людей [9].

В-третьих, к перечню обязательных элементов обустройства стоит добавить минимальных размеров спортивную площадку, так как в большинстве случаев возникает потребность в разминке после длительного пребывания в сидячем положении как у водителей, так и у пассажиров.

В-четвертых, в перечень дополнительных элементов обустройства площадок отдыха для повышения привлекательности можно предложить включить малые архитектурные формы и элементы освещения в качестве тематического оформления.

Таким образом, вышеуказанные предложения по оптимизации проектирования зон отдыха могут привести к росту спроса площадок отдыха как самостоятельных объектов сервиса, прогнозируется увеличение комфорта и безопасности участников дорожного движения при эксплуатации объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года // ECONOMY.GOV.RU: Официальный сайт Минэкономразвития России. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/fb8a4b084460e064e787d6f199dba82e/strategiya_razvitiya_turizma.pdf (дата обращения: 25.10.2025);
2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие туризма» // ECONOMY.GOV.RU: Официальный сайт Минэкономразвития России. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/cfac38b1b024819b97debb91aad705ea/gos_programma_rf_razvitie_turizma_23122024.pdf (дата обращения: 25.10.2025);
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.04.2024 г. № 1025-р. Концепция развития автомобильного туризма в Российской Федерации на период до 2035 года // GOVERNMENT.RU: Правительство Российской Федерации URL: <http://government.ru/docs/all/153130/> (дата обращения: 01.10.2025);
4. ГОСТ 33062-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к размещению объектов дорожного и придорожного сервиса» // FILES.STROYINF.RU: Библиотека нормативной документации URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759818.pdf> (дата обращения: 30.05.2025);
5. Серова Е.Ю., Сапожникова Н.В., Мельникова В.В. Влияние состояния придорожной инфраструктуры на безопасность управления

автомобилем // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 166–171;

6. Карпушко М.О., Бартоломей И.Л. Перспективы развития многофункциональных дорожных зон на территории Пермского края // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2017. №3. С. 77–92;

7. Микрюков К.С. Требования к эффективному назначению объектов сервиса в пределах придорожной полосы // NEW SCIENCE SOLUTIONS. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. 2020. С. 32-47;

8. Галеев А.Г., Зиннуров Т.А., Маслова Е.Д. Современная концепция зоны отдыха на автомобильных дорогах Республики Татарстан // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2024. № 4 (8). С. 36-46;

9. Коронова Е.Н., Полонский Д.В. Экологические аспекты создания многофункциональных дорожных зон // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. Сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2025. С. 96-100.

Махонин В.Л., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Фролов Н.В.

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

ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ВСЛЕДСТВИЕ ОШИБОК СТРОИТЕЛЬСТВА

В настоящее время каркасы гражданских зданий в основном возводятся из монолитного железобетона. По монолитной технологии выполняются фундаменты, стены, пилоны и колонны, а также плиты перекрытий и покрытия.

При нарушении технологии производства строительно-монтажных работ и недостаточном их контроле в монолитных железобетонных конструкциях могут образовываться различные дефекты и повреждения. Для монолитных железобетонных фундаментных плит ошибки строительства являются наиболее опасными, т.к. оказывают влияние на техническое состояние всего здания.

Ошибки, допускаемые при устройстве монолитных железобетонных плит, и как следствие получаемые ими дефекты и

повреждения можно условно разделить на две группы: конструкционные (рис. 1) и технологические (рис. 2) [1].

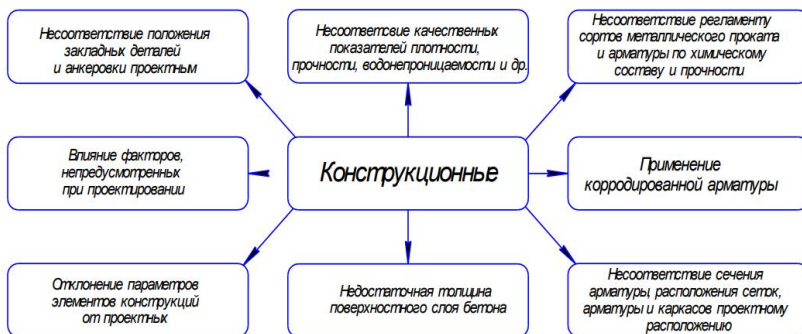


Рис. 1. Ошибки конструкционного характера при устройстве монолитных железобетонных конструкций



Рис. 2. Ошибки технологии выполнения монолитных железобетонных конструкций

Технологические ошибки связаны с нарушением технологии производства работ при устройстве монолитных железобетонных конструкций.

Конструкционные ошибки связаны с различными отступлениями и отклонениями параметров конструкций от проектной документации.

Рассмотрим подробнее наиболее часто встречающиеся дефекты монолитных железобетонных фундаментных плит вследствие ошибок строительства при выполнении опалубочных, арматурных и бетонных работ.

Дефекты из-за неправильной установки и раннего снятия опалубки.

Ошибки в установке опалубки и ее раннее снятие (до набора бетоном требуемой прочности) включают в себя смещение, перемещение, потерю опоры, разрушение форм, которые могут привести к растрескиванию и разрушению конструкции. Не правильная установка опалубки также приводит к отклонениям в габаритных размерах монолитной железобетонной конструкции. Это приводит к ухудшению качества, необходимости частичной или даже полной переделки конструкции.

Дефекты выполнения арматурных работ.

Дефекты армирования монолитных железобетонных конструкций – это различные отклонения от проекта в расположении, количестве или качестве арматурных сеток и каркасов, которые могут включать смещение, разрыв, коррозию арматуры, недостаточную или чрезмерную толщину защитного слоя бетона (рис. 3), а также неправильную сварку стыков, нарушения в устройстве нахлесточных соединений и анкеровки арматуры. Эти нарушения могут привести к существенному снижению несущей способности конструкции, образованию трещин и пустот, снижению срока службы, а в конечном итоге – к аварийному состоянию объекта.



Рис. 3. Смещение верхней рабочей арматуры вглубь сечения железобетонной плиты

Дефекты выполнения бетонных работ.

Дефекты выполнения бетонных работ включают поверхностные и глубинные раковины, пустоты, трещины, сколы, наплывы бетона, отслоение защитного слоя арматуры (рис. 4), а также высолы и коррозию арматуры, которые возникают из-за нарушения технологии укладки и уплотнения смеси, использования некачественных материалов или негативного воздействия внешних факторов.



Рис. 4. Дефекты бетонирования железобетонной фундаментной плиты

Результаты проведенного анализа основных дефектов и повреждений монолитных железобетонных фундаментных плит вследствие ошибок строительства позволяют сделать вывод, что строгое соблюдение требований, предъявляемых к качеству строительных материалов, компонентов смесей, квалификации работников, технологии, осуществлению контроля на каждом этапе многостадийного процесса изготовления монолитных железобетонных конструкций, позволит снизить количество дефектов готовых конструкций, а также повысить уровень безопасности и увеличить срок эксплуатации здания в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокадаров С.А., Калач Е.В., Драпалюк Д.А. Анализ причин дефектов при производстве монолитных железобетонных конструкций // Студент и наука. 2022. № 2 (21). С. 81-84.
2. Ребик С.А., Бибикив М.В. Дефекты железобетонных конструкций в монолитном строительстве // Актуальные вопросы техники, науки, технологии. Сборник научных трудов национальной конференции. Брянск, 2025. С. 544-545.
3. Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В. Анализ коррозионных повреждений, эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 1. С. 52-57.
4. Перунов А.С., Егоров Д.А. Обзор распространенных дефектов монолитных железобетонных конструкций при строительстве многоэтажных зданий // Инженерный вестник Дона. 2025. № 3 (123). С. 78-97.
5. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А. Совершенствование технологии возведения монолитных буронабивных железобетонных свай-оболочек // Строительное производство. 2020. № 1. С. 104-107.

**Николаев М. А., магистрант,
Василец Д. Ф., магистрант**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
Казakov Ю. Н.**

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, Россия*

ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНЫХ ГРУНТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ИСПОЛЬЗУЯ МЕТОД «СТЕНА В ГРУНТЕ»

В Санкт-Петербурге, который был заложен в болотистой местности и имеющем сложные водонасыщенные грунты, состоящие из глины, суглинков, торфа и песков, имеются дополнительные препятствия для подземного строительства, которые могут быть преодолены при помощи метода «стена в грунте». Применение метода «стена в грунте» позволяет решить возникающие в процессе строительства задачи. Указанная технология позволяет производить строительные работы рядом с существующими объектами капитального строительства, ускорить производство работ и обеспечить необходимую водонепроницаемость, уменьшить деформацию и динамические колебания грунта, отпадает необходимость в больших площадях для движения рабочей техники.

При возведении фундаментного основания и подземной части здания открытым способом на глубине до 30 м инженеры сталкиваются с проблемой ограждения глубокого котлована, которая очень актуальна для Санкт-Петербурга. Работы в исторической части города приходится вести в сложной геологической обстановке из-за водонасыщенных грунтов, состоящих из глины, суглинков, торфа и песков. Помимо этого, подземное строительство вызывает различные процессы в грунте, которые могут негативно повлиять на находящиеся поблизости объекты, например, изменение грунтом своего положения, пустотообразование в породе, потеря целостности грунта, просадка, разрушение существующей структуры, выдавливание грунта.

Мероприятия, направленные на водопонижение, могут повлечь за собой изменение положения фундаментов зданий по вертикали, привести к уплотнению грунта, который окажется выше уровня грунтовых вод. Находящиеся ниже уровня земли части зданий и сооружений подвергаются сильному негативному воздействию грунтовых вод, это связано с тем, что подземные части зданий препятствуют естественному движению грунтовых вод, результатом такого воздействия могут быть вымывание

отдельных частей породы под напором грунтовых вод, а также затопленные территории и подвалы зданий.

Но несмотря на трудность освоения подземного пространства, необходимость развития инфраструктуры города требует строительства различных подземных сооружений, таких как паркинги, прокладка новых линий метрополитена, коммуникации.

В данной публикации рассмотрена актуальная для Санкт-Петербурга проблема подземного строительства в водонасыщенных грунтах, состоящих из глины, суглинков, торфа и песков, с учетом опыта использования в практической деятельности передовых методов ограждения котлованов, имеющих значительную глубину.

«Стена в грунте» метод, заменивший производство работ в открытом котловане и технологию опускных колодцев, является одним из наиболее часто применяемых. Метод заключается в разработке траншеи, в которой затем возводят железобетонную конструкцию. При разработке котлована в водонасыщенных грунтах «стена в грунте» позволяет эффективно защитить от обводнения стенки котлована.

Технология представляет собой разработку траншеи, имеющей значительную глубину и небольшую ширину, работы проводятся под защитой бентонитовой суспензии, которая помогает укрепить стенки траншеи и защищает их от разрушения за счет избыточного гидростатического давления, оказываемого на вертикальную поверхность. Это помогает укрепить стенки траншеи и избежать деформаций.

В случае, когда необходимо возводить здание с отметки ниже уровня грунтовых вод, а также при необходимости вести работы на обширной площади и пониженных вибрационных и шумовых показателях, то данная технология будет являться одной из самых передовых и применяемых.

Технология «стена в грунте» отличается от других технологий следующими особенностями:

- дает возможность вести работы в непосредственной близости от существующих зданий из-за более низких вибрационных и шумовых характеристик;
- возможность разработки котлована на глубину до 40 м (наиболее частый случай), и до 60 м, при наличии необходимого специализированного оборудования;
- возможность реализации любых объемно-планировочных решений и конструктивных схем;
- не требуется проводить мероприятия по водопонижению или осуществлять замораживание грунтов.

Метод имеет ограничения по применению. Эффективность применения технологии падает в условиях грунтов с большим количеством

каверн, водонасыщенных глинистых грунтов, состоящих из ила, слабых неустойчивых пород, таких как плывуны или насыпные грунты, пород, имеющих высокую водопроницаемость.

Технологическая последовательность операций, которые необходимо выполнить, чтобы метод «стена в грунте» был эффективен и дал нужный результат следующая:

1. Чтобы стенки траншеи были устойчивы, механизмы необходимые для производства работ заняли проектное положение, избыточный глинистый раствор был отведен, а возводимое сооружение соответствовало требованиям, отраженным в проекте, необходимо произвести работы по возведению ограждающей конструкции из железобетона, называемой форшахтой.

2. Разрабатывается траншея, которая станет основой для будущей стены. Операция осуществляется небольшими захватками от 3 до 6 м с использованием гидрофрезы. После выемки грунта траншею заполняют тиксотропной глинистой суспензией, основой которой является бентонит, которая играет роль противодиффузионной завесы (ПФЗ).

3. Производится монтаж армокаркаса (армирование) до дна разработанной траншеи, вязка арматуры выполняется непосредственно на строительном участке.

4. Бетонирование, производимое с применением технологии вертикально перемещаемой трубы (ВПТ). Применяются специализированные трубы (бетонолитные), размер захватки – до 6 м. Бентонитовый раствор, который был вытеснен бетонной смесью откачивают, затем отфильтровывают, после чего раствор может быть использован повторно.

Траншея разрабатываемая первой при производстве земляных работ, называемая пионерной траншеей, разрабатывается вдоль оси сооружаемой стены. Она является указателем, показывая направление основной траншеи, по ней перемещается техника, чтобы добраться до отметки земляного полотна и приступить к разработке основной траншеи. При помощи монолитного железобетона, которым укрепляют пионерную траншею осуществляют сооружение форшахты. На всю длину форшахты через каждые 1,5-2 м необходимо соорудить распорные конструкции, чтобы избежать обрушения стенок или их деформации. После схватывания уложенной бетонной смеси можно установить железобетонные плиты, которые будут выполнять функции жесткого основания для техники, ведущей земляные работы. Работы необходимо выполнять с разбивкой на секции. Длина одной секции в плане от 3 до 6 м.

Можно производить работы параллельно на 3 захватках. Первая захватка: двухчелостной грейфер разрабатывает грунт, вторая захватка:

монтируется армокаркас и выполняются подготовительные работы перед бетонированием, третья захватка: производится бетонирование секции будущей стены.

Технологию «стена в грунте» характеризуют устройство глубоких котлованов и траншей, ограждающая конструкция, имеющая большую устойчивость, серьезное влияние изгибающего момента. Данная технология имеет существенный недостаток – стоимость ее применения. Необходимо отметить, что при применении данной технологии в условиях техногенных пористых грунтов или трещиноватых известняков, грунты придется предварительно цементировать, чтобы избежать разрушения глинистых грунтов из-за динамических нагрузок.

Применение технологии «стена в грунте» дает возможность возводить разнообразные объекты: объекты транспортной инфраструктуры, объекты бытового обслуживания, подземные части зданий различного назначения, обеспечивая при этом сохранность существующих инженерных коммуникаций и сетей. «Стена в грунте» может выполнять функции не только ограждающей конструкции котлована, но и быть частью фундамента возводимого сооружения. Производство строительно-монтажных работ не зависит от времени года и погоды, обеспечивая непрерывность работ. Преимуществами данной технологии можно назвать:

- возможность реализации любых объемно-планировочных решений и конструктивных схем в любых, даже самых сложных, инженерно-геологических условиях;
- хорошая водонепроницаемость;
- высокие темпы строительно-монтажных работ;
- пониженные деформация и динамические колебания грунта;
- жесткие и прочные конструктивные элементы, являющиеся надежной опорой для находящихся выше конструкций;
- низкие уровни шума и вибрации, повышающие комфорт людей в зданиях, находящихся в непосредственной близости от строительной площадки;
- отсутствие необходимости в больших площадях для движения специальной строительной техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Р. А. Мангушев, Н. В. Ошурков, В. Э. Готовский. Влияние строительства трехуровневого подземного пространства на жилые здания окружающей застройки // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Жилищное строительство». 2010. № 5.

2. МДС 12-23.2006 Временные рекомендации по технологии и организации строительства многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в Москве. М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. 171 с.

3. Ильичев В. А., Голубев Г. Е., Замараев А. В., Скачко А. Н., Игнатова О. И., Буданов В. Г., Короткова О. Н. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. // Российская Академия архитектуры и строительных наук – М.: ГУП «НИАЦ» Москомархитектуры, 2004. 88 с.

4. Лалетин Н. В., Сычев А. К. Устройство несущей «стены в грунте» из монолитного железобетона (при разработке грунта экскаватором, оборудованным грейферным ковшом): Основания и фундаменты: Вступительная лекция. – М.: ВИА, 1995. 32 с.

5. Сооружение ведущих конструкций станций метрополитена методом "стена в грунте": Технологическая карта. М.: ВПИТРАНССТРОЙ, 1986.

6. Строительное, дорожное и коммунальное машиностроение: Обзорная информация. Вып. 2. Грейферное оборудование зарубежных гидравлических экскаваторов. – М.: ЦНИИТ Эстроймаш, 1986

7. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге (ТСН 50-302-2004). Правительство Санкт-Петербурга. СПб. 2004

8. Устройство «стены в грунте». Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ: СТО НОСТРОЙ 40 / ОАО «Институт общественных и жилых зданий, сооружений и комплексов». М.: ООО «Издательство БСТ», 2012. 142 с.

Ньямитамбу М., магистрант

Научный руководитель: канд. техн. наук., доц.,

Никитин А.И.

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

ВАРИАНТЫ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ СО СБОРНЫМИ КОЛОННАМИ ДЛЯ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО КАРКАСА

Участок сопряжения плоского безбалочного перекрытия с колонной в сборно-монолитных многоэтажных зданиях является достаточно проблемным поскольку в таких каркасах на этом участке возникают

перерезывающие усилия и максимальный изгибающий момент. Обеспечение восприятия усилия продавливания часто вызывает затруднения несмотря на то, что существуют разные варианты узлов сопряжения перекрытия с колоннами сборно-монолитных каркасов [1, 2].

При проектировании зданий методом подъема перекрытий и этажей возможно применение нескольких технологических вариантов возведения: подъем готовых этажей, подъем перекрытий и смешанный метод [3]. Суть методов: на уровне земли собираются перекрытия либо цельные этажи включая перегородки, и, следовательно, поднимаются на проектную отметку с помощью грузозахватных устройств и грузоподъемных механизмов.

Для зданий, в которых внутренние перегородки занимают относительно небольшую часть площади этажей (например, торговые или учебные сооружения), оптимальным является метод подъема перекрытий. При этом допускается одновременный подъем нескольких перекрытий. В противном случае (например, для гостиниц) более целесообразен метод подъема этажей.

При выборе метода строительства с подъемом предварительно изготовленных на уровне земли перекрытий или этажей необходимо проводить технико-экономическое сопоставление с иными вариантами конструктивных решений и индустриальными способами возведения каркасов зданий из сборно-монолитного железобетона. Основные показатели, интересующие для оценки целесообразности применения одного или иного метода являются увеличение темпов строительства и качества стыка монолитного перекрытия с колонной.

Допустимо комбинирование метода строительства с подъемом предварительно изготовленных на уровне земли перекрытий или этажей с традиционными способами домостроения для достижения оптимальных результатов по указанным параметрам.

Исходя из вышесказанного, предлагается рассмотреть вариант каркаса с монолитной плитой перекрытия и со сплошными сборными колоннами без проемов. Для сопряжения перекрытий с колоннами, распределения опорной реакции и обеспечения прочности на продавливание в опорной зоне перекрытий должны устанавливаться специальные закладные детали – стальные воротники (см. рис. 1). Воротники используются для обрамления отверстий в перекрытиях, предназначенных для пропуска колонн при подъеме, и имеют специальные вырезы и детали для пропуска и закрепления грузовых тросов подъемников [3, 4].

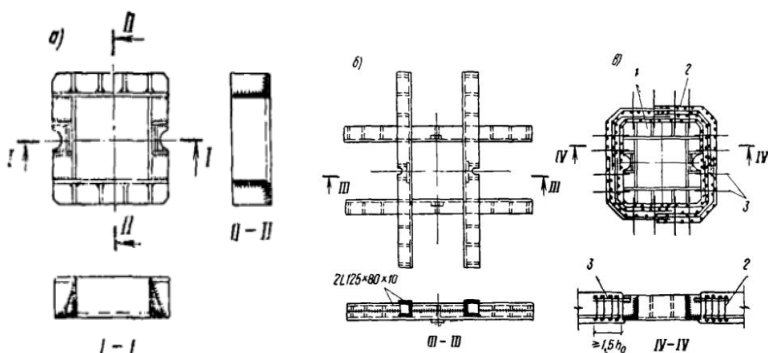


Рис. 1. Примеры конструкций стальных воротников: а – короткий воротник; б – длинный воротник; в – воротник с поперечной арматурой; 1 – воротник; 2 – сваренные каркасы с поперечной арматурой; 3 – анкерные стержни

Рабочую арматуру опорной зоны перекрытия, обрываемую при устройстве отверстия для пропуска колонны или для размещения воротника, рекомендуется приваривать к верхней грани воротника (обоймы). Допускается приваривать к воротнику часть рабочих стержней (не менее двух на каждую сторону воротника) и окаймлять отверстие дополнительной арматурой.

Если рабочая арматура напрягаемая или маленького диаметра и ее нельзя приварить к воротнику, то следует приварить к воротнику специальные анкерующие стержни из стали периодического профиля. Анкерные стержни должны выводиться за пределы пирамиды продавливания на величину зоны заделки для растянутых стержней изгибаемых элементов [3].

Устройство рабочей арматуры плиты между несущих колонн в виде «скрытых ригелей» обеспечивает рамную систему, в которой предотвращается продавливание бетона в участке примыкания несущих горизонтальных и вертикальных конструктивных элементов за счет того, что все горизонтальные нагрузки воспринимаются сборными железобетонными колоннами и жестко соединенным с ними в узлах монолитным перекрытием (см. рис. 2) [4].

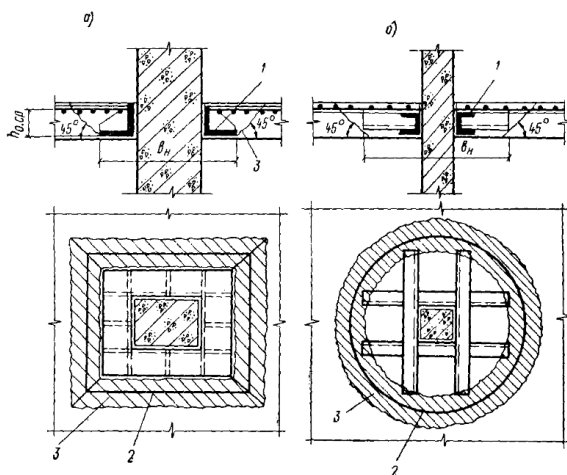


Рис. 2. Пирамида продавливания: *а* – при коротком воротнике; *б* – при длинном воротнике; *1* – воротник; *2* – средний периметр продавливания; *3* – поверхность продавливания

При проектировании узла, в обязательном порядке должны выполняться расчеты на прочность стальных элементов и сварных швов, на продавливание монолитного железобетонного участка плиты, прилегающего к колонне и тщательный подбор арматурных изделий, входящих в состав узла [5]. Эффективным подходом на сегодняшний день, является моделирование в программных комплексах SCAD или ЛИРА, что позволяет учесть нелинейные эффекты и обеспечивает более точные результаты расчета для оптимизирования конструкции [6].

Чтобы обеспечить экономичность необходимо минимизировать материалоемкость при сохранении прочности, что достигается оптимизацией армирования и геометрии узла.

Узел крепления монолитной плиты к колоннам без зазора обеспечивает более высокую надежность и жесткость каркаса в целом, но требует более точного монтажа и тщательного проектирования. Его применение оправдано в зданиях с высокими нагрузками и в сейсмически активных районах.

Также, применение метода подъема перекрытий и этажей позволяет ускорить процесс строительства благодаря уменьшению объемов монолитных работ и увеличения сварочных работ непосредственно на стройплощадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коваленко, М. В. Исследование конструктивного решения узла сопряжения плоской плиты перекрытия с колонной в железобетонном безбалочном каркасе / М. В. Коваленко // Строительство и реконструкция: сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 29 мая 2020 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 96-99.
2. Филатов, В. Б. Анализ влияния конструктивных параметров на прочность железобетонных плит при продавливании / В. Б. Филатов, Е. П. Бубнов, А. К. Алексеев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4-3. – С. 646-649.
3. СН 451-72 Временные указания по проектированию гражданских зданий, возводимых методом подъема перекрытий и этажей. – М.: Стройиздат. – 1974. – 95 с.
4. Кабанцев, О.В. Анализ напряженно-деформированного состояния плитных конструкций в приопорных зонах / О.В. Кабанцев, К.О. Песин, А.В. Карлин // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – Т.13. – № 1. – С. 55-62.
5. Комаров, В. А. Сборно-монолитные узлы сопряжения несущих конструкций каркасов многоэтажных зданий: особенности деформирования, трещинообразования и разрушения / В. А. Комаров, С. Н. Ласьков // Региональная архитектура и строительство. – 2023. – № 3(56). – С. 136-143.
6. Никулин, А.И. Эффективность применения плоских сборно-монолитных перекрытий в каркасном домостроении / А.И. Никулин, С.В. Богачева // Технические науки: проблемы и перспективы: Материалы III международной научной конференции. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 70-74.
7. Колесников, В.А. О методике расчета прочности сборно-монолитных комбинированных конструкций перекрытий балочного типа / В.А. Колесников, А.И. Никулин // 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. 45-56.

Радионов Д.А., магистрант

**Научный руководитель: ст. преп.
Тонаканян М.М.**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В МАССОВУЮ ЖИЛИЩНУЮ ЗАСТРОЙКУ

В статье рассматриваются современные направления и перспективы интеграции металлоконструкций в массовое жилищное строительство. Особое внимание уделяется инновационным технологиям, материалам и архитектурным решениям, способствующим повышению эффективности, надежности и скорости возведения жилых комплексов. Анализируются ключевые тренды развития отрасли, вызовы внедрения металлоконструкций в массовую застройку и возможные пути их преодоления.

Массовое жилищное строительство играет важную роль в обеспечении устойчивого развития городских территорий и удовлетворении растущих потребностей населения в доступном и качественном жилье. Традиционно в этом секторе доминировали кирпичные, монолитные и панельные конструкции, однако в последние годы все более актуальными становятся новые материалы и технологии, способные значительно повысить эффективность и скорость строительства.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование металлоконструкций. Металлические конструкции широко используются в строительстве благодаря своей прочности, долговечности и возможности возводить и эксплуатировать при разных внешних условиях. Благодаря достижениям в области материаловедения и инженерных технологий, металлоконструкции получают все большее распространение в массовом строительстве, способствуя сокращению сроков возведения зданий, снижению затрат и повышению качества конечного продукта.

Однако внедрение металла в массовую жилую застройку сталкивается с рядом технических, экономических и регуляторных вызовов. В данной статье рассматриваются современные технологии и инновационные идеи, которые формируют перспективные направления развития в этой области. Анализируются ключевые тенденции, факторы успешной реализации проектов и возможные сценарии дальнейшего

развития интеграции металлоконструкций в массовое жилищное строительство.

В последние десятилетия в строительной отрасли наблюдается устойчивый тренд к использованию новых материалов и технологий, которые позволяют повышать эффективность и качество возводимых зданий. Металлоконструкции стали одним из ключевых направлений этого развития, предлагая решения для быстрого и экономичного строительства.

Современные технологии в области металлоконструкций

За последние десятилетия технологии изготовления и монтажа металлоконструкций значительно эволюционировали. Сегодня в строительстве активно применяют такие методы, как предварительно напряженные и сварные конструкции, а также модульные системы, что позволяет значительно ускорить процесс возведения зданий и повысить их качество. Среди ключевых технологий выделяются [1-3]:

Использование высокопрочных сталей. Высокопрочные сплавы значительно увеличивают прочность конструкций, что позволяет зданиям и сооружениям лучше сопротивляться механическим нагрузкам и продлевать их эксплуатационный срок.

Технологии автоматизированного производства – применение роботизированных систем и автоматизированных линий обработки металла обеспечивают высокую точность изготовления деталей, снижение себестоимости и сокращение сроков производства.

Методы сборки и монтажа – использование модульных элементов, сборных конструкций на площадке и быстрой стыковки элементов с помощью болтовых соединений или сварки позволяют существенно ускорить строительство.

Использование инновационных покрытий и защитных слоев – современные антикоррозийные материалы и покрытия повышают стойкость металлоконструкций к воздействию окружающей среды, что особенно важно при массовом строительстве в различных климатических зонах.

Инновационные идеи и концепции

В рамках развития металлоконструкций в массовом жилье активно внедряются идеи, ориентированные на создание более комфортных, энергоэффективных и экологичных зданий. Среди них [4]:

1. Модульное строительство – процесс, при котором отдельные элементы здания (модули) изготавливаются в заводских условиях, а затем доставляются на строительный участок для сборки, что позволяет значительно снизить сроки строительства и обеспечить высокое качество исполнения.

2. Гибкие и трансформируемые конструкции – возможность изменения планировок и перепланировки за счет использования конструкций, которые легко адаптируются под новые требования.

3. Интеграция инновационных систем.

Современные системы «Умный дом» позволяют эффективно управлять инженерными системами, бытовым оборудованием, коммуникациями и безопасностью и обеспечивают высокий уровень комфорта.

Направления развития и перспективы внедрения металлоконструкций

Современные тенденции демонстрируют, что интеграция металлоконструкций в массовую жилую застройку будет продолжать расширяться за счет следующих ключевых направлений:

1. Улучшение технических характеристик и снижение стоимости.

Разработки в области материаловедения позволяют создавать более экономичные и экологичные сплавы, что делает металлоконструкции более доступными для массового сегмента. Важным аспектом является повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных затрат за счет использования теплоизоляционных покрытий и систем вентиляции с рекуперацией тепла, которые позволяют экономить энергию и уменьшать расходы на отопление и вентиляцию [5].

2. Интеграция цифровых технологий и BIM-моделирования.

Использование технологий информационного моделирования зданий (ТИМ, англ. BIM – Building Information Modeling) позволяет оптимизировать проектирование, производство и монтаж металлоконструкций, снижая риск ошибок, коллизий и сокращая сроки реализации проектов. Это особенно актуально при масштабных застройках, где важна точность и координация на всех этапах. Применение информационных технологий обеспечивает улучшение коммуникаций между всеми участниками проекта: заказчик, проектировщики, строители и прочие специалисты должны совместно использовать информационные модели на всех стадиях проекта, чтобы обеспечить прозрачность, улучшить коммуникацию и повысить эффективность работы [6].

3. Экологическая устойчивость и энергоэффективность.

Современные технологии позволяют создавать «зеленые» здания с низким уровнем энергетического использования и минимальным экологическим следом. Экологичное строительство, также известное как «зеленое» строительство, подразумевает структуру и применение процессов, которые являются ресурсосберегающими и экологически ответственными на протяжении всего жизненного цикла здания: от планирования до проектирования, строительства, эксплуатации, технического обслуживания, реконструкции и сноса. Металлоконструкции

обладают высокой степенью переработки, что способствует снижению отходов и более рациональному использованию ресурсов [7].

4. Инновационные методы защиты и долговечности.

Разработка новых покрытий и методов защиты от коррозии, а также применение антикоррозийных систем внутри конструкции, позволяют значительно увеличить срок службы металла, что особенно важно в массовом жилье, где эксплуатационные расходы и надежность имеют первостепенное значение. Например, использование цинковых покрытий. Цинк, благодаря своим химическим свойствам, образует барьер, который защищает металл от воздействия влаги и других коррозионных факторов. [8].

5. Гибкость архитектурных решений и высокая адаптивность.

Современные металлические конструкции обеспечивают создание разнообразных форм и конфигураций зданий, что расширяет возможности архитекторов и проектировщиков. Кроме того, из всех изготавливаемых несущих конструкций металлические являются наиболее легкими. Трансформируемые и модульные системы позволяют адаптировать жилые комплексы под изменяющиеся требования городского развития и современные дизайнерские тенденции.

Несмотря на очевидные преимущества, как и все остальные конструкции, металлические, имеют ряд недостатков, которые существенно усложняют процесс внедрения металлоконструкций в массовую застройку. В числе основных – необходимость совершенствования нормативной базы, развитие технологий массового производства, а также повышение квалификации специалистов. Однако, учитывая динамичное развитие строительных технологий и растущий спрос на быстрые и качественные решения, перспективы их использования выглядят весьма позитивными. Внедрение энергоэффективных технологий и инновационных материалов, а также методов проектирования обещает обеспечить новые стандарты эффективности, экологичности и экономичности в массовом жилом строительстве [9].

В современном строительстве металлические конструкции занимают все более важное место благодаря своим уникальным свойствам и возможностям. Они позволяют реализовать инновационные архитектурные идеи, значительно ускоряют сроки возведения объектов и обеспечивают высокую прочность и долговечность зданий. Внедрение современных технологий, таких как автоматизированное производство, информационное моделирование и использование высокопрочных материалов, открывает новые горизонты для массового жилищного строительства.

Перспективы развития металлоконструкций связаны с их экологической устойчивостью, энергоэффективностью и возможностью гибкой адаптации под изменяющиеся требования городских пространств. Несмотря на существующие вызовы, связанные с нормативной базой и необходимостью повышения квалификации специалистов, будущее за интеграцией инновационных решений, что сделает массовое жилье более комфортным, доступным и экологичным.

В целом, металлоконструкции продолжают демонстрировать свою значимость и потенциал для формирования современного городского пространства, отвечая требованиям времени и способствуя развитию устойчивых и инновационных городских сред. По мере развития технологий и улучшения методов переработки, металлы будут играть еще большую роль в создании экономически эффективных и экологически чистых строительных решений, удовлетворяющих потребности будущих поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барабаш М.С., Лазнюк М.В., Мартынова М.Л., Пресняков Н.И. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций / Курсовое и дипломное проектирование. Исследовательские задачи: Уч. пос. для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. проф. Нилова А.А. – М.: Издательство АСВ. – 2008. – 328 с.
2. Колосов Р.А. Анализ вопросов применения и изготовления металлоконструкций // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – №11. – С. 350-352.
3. Особенности использования высокопрочных сплавов в современном строительстве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vshrss.ru/> (Дата обращения: 17.10.2025).
4. Металлоконструкции будущего: какие инновации ждут нас в ближайшие десятилетия? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.niann.ru> (Дата обращения: 19.10.2025).
5. Синелюбов М.А. Анализ влияния свойств различных сплавов на эксплуатацию металлических строительных конструкций // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. №5. – С. 169-171.
6. Идеи в металле. Технологии ВМ для эффективного производства металлоконструкций. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sapr.ru/issue> (Дата обращения: 28.10.2025).
7. Халимонов А. В. Практика зеленого жилищного строительства

в России: проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. – 2023. – №8. – С. 286-291.

8. Хохлочева Н.М. Коррозия металлов и средства защиты от коррозии. Учебное пособие / Н.М. Хохлачева, Е.В. Ряховкая, Т.Г. Романова. – М.: ИНФРА-М. – 2016. – 118 с.

9. Байтукова, Е. В. Состояние и проблемы отрасли строительных металлических конструкций в современной России / Е. В. Байтукова, Г. В. Бушмелева, В. П. Грахов. // Молодой ученый. – 2014. – № 9 (68). – С. 253-256.

Сагитдинов М.Р., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Розанцева Н.В.**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербургский, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ НА ОСНОВАНИИ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В условиях цифровизации строительной отрасли особую значимость приобретает вопрос эффективного контроля сроков строительства, поскольку срыв сроков влечет за собой увеличение времени на реализацию проекта, рост затрат на трудовые и материальные ресурсы, нарушение обязательств перед заказчиком, что в свою очередь может повлечь и юридическую ответственность. Одной из основных причин отставания от графиков является недостаточный уровень системности в управлении сроками, отсутствие грамотного календарного планирования и цифровых решений для управления строительством.

В современном строительстве одной из важнейших проблем является эффективное обращение с отходами, особенно в условиях плотной городской застройки. Высокие темпы урбанизации приводят к значительному увеличению объемов образующихся строительных отходов, в частности образуемых при разработке котлована, что создает нагрузку на окружающую среду и инфраструктуру городов. Растущая плотность населения и активное развитие инфраструктуры требуют новых подходов к решению вопросов экологии и устойчивого развития. Особое значение приобретают современные цифровые инструменты и инновационные методы управления отходами, включая повышение

точности расчетов потребляемых ресурсов и снижение количества материала, отправляемого на полигоны, позволяющие значительно снизить негативное воздействие строительства на городскую среду. Для контроля сроков и минимизации просрочек необходимо осуществлять управление всем жизненным циклом проекта, придерживаясь определенных этапов: планирование – оперативный контроль – корректировка сроков.

Особое внимание при этом требуется уделить формализации и структурированию процессов планирования, контроля и корректировки планов. Для этого на начальном этапе разрабатывается структурная декомпозиция работ (WBS). Данная структура является одним из основных элементов модели управления проектом и разрабатывается на основании жизненного цикла проекта. Ниже отображена пошаговая схема жизненного цикла проекта, от запуска до его завершения (рис. 1).

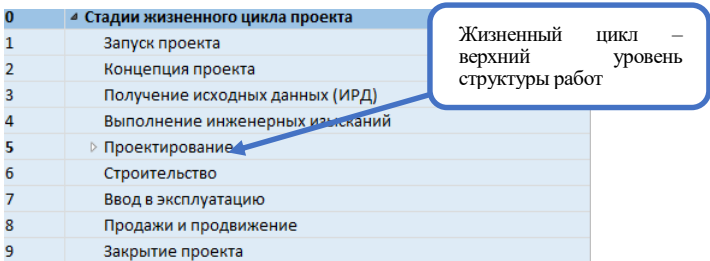


Рис. 1. Стадии жизненного цикла проекта

Современные технологии, предоставляют уникальную возможность заранее спрогнозировать потоки материалов и уменьшить отходы еще на этапе проектирования. Применение программного обеспечения позволяет точно рассчитать потребность в материалах, избежать ошибок в расчетах и предотвратить появление избытков.

Контроль над объемом и составом отходов осуществляется с помощью специальных цифровых платформ, которые обеспечивают сбор и обработку данных в режиме реального времени. Автоматизированные системы мониторинга позволяют анализировать процессы и оперативно выявлять участки с повышенным образованием отходов, снижая затраты на логистику и эксплуатацию оборудования.

После определения ключевых стадий жизненного цикла проекта каждая из стадий декомпозируется на работы следующего уровня (рис. 2).

Впоследствии, структурная декомпозиция работ становится основной для формирования календарного графика планирования. В графике работ устанавливаются зависимости между задачами, с учетом их технологической последовательности, рассчитываются сроки выполнения работ и задаются ресурсы для их выполнения.

0	▲ Структурная декомпозиция работ
1	▲ Запуск проекта
1.1	Заклучение договора
1.2	Выпуск приказов на ответственных лиц
2	▷ Концепция проекта
3	▷ Получение исходных данных (ИРД)
4	▷ Выполнение инженерных изысканий
5	▲ Проектирование
5.1	Разработка архитектурно-функциональной концепции (АФК)
5.2	Разработка стадии (ПД)
5.3	Разработка стадии (РД)
6	▲ Строительство
6.1	Подготовительные работы
6.2	Работы нулевого цикла
6.3	Возведение надземной части
6.4	Наружные работы
7	▲ Ввод в эксплуатацию
7.1	Пуско-наладочные работы
7.2	Комплектация исполнительной документации
7.3	Получение заключения о соответствии
7.4	Получение разрешения на ввод объекта в эксплуатацию
8	▷ Закрытие проекта

Рис. 2. Структурная декомпозиция работ проекта

Как правило, в календарно-сетевом планировании графики строятся при помощи метода критического пути. Критический путь представляет собой последовательность задач в проекте, имеющих нулевой резерв времени и определяющих минимально возможную длительность проекта. Данным задачам уделяется особое внимание при контроле сроков, потому что они представляют наибольший риск ввиду отсутствия резервов времени на их выполнение.

После разработки планового (базового) графика работ, необходима его фиксация для последующего отслеживания и актуализации сроков. Актуализация сроков проводится для отслеживания достоверности проведения работ и оперативного принятия решений в случае их отклонения от плановых показателей. Актуализация может быть проведена на основании данных о фактическом выполнении работ, взятых из оперативных месячно-суточных графиков, которые ведутся на ежедневной основе.

Существует несколько методов контроля сроков в настоящей практике. Первым из них является метод простого контроля. Данный метод еще называют методом «0-100», поскольку он отслеживает только завершения детальных работ проекта и подразумевает две степени завершенности работ: 0% и 100%. То есть, работы считаются выполненными, только в случае их полного завершения, когда достигнут конечный результат и освоен весь объем.

Второй метод – метод детального контроля или «50/50», он подразумевает промежуточную оценку состояния выполненной работы.

То есть, завершенность детальной работы на 50% означает, что работа уже начата, выполнена не более чем на 50%, но все же еще не закончена полностью. Данный метод является более точным, по сравнению с методом простого контроля и показывает более точный процент завершения всего проекта.

Третий метод – метод контроля по шагам, данный метод является наиболее эффективным, поскольку предполагает выставление точного процента выполнения работ по задачам, однако требует от производительных работ оценивать процент их завершения, на момент их непосредственного выполнения. Метод является более трудоемким по сравнению с предыдущим методом, но в свою очередь подразумевает большую точность в планировании.

Данные методы контроля могут применяться как по отдельности, так и в комбинации. Однако, наиболее эффективным является пошаговый контроль, который является усовершенствованным вариантом методов «0/100» и «50/50», обеспечивающий более точное отслеживание прогресса проекта в процентах от 0 до 100.

Важно отметить, что реализация каждого из методов контроля сроков требует применения специализированных программных решений, которые позволят автоматизировать планирование, процесс сбора и обработки информации. Одним из наиболее распространенных программных продуктов в строительной сфере, предназначенный для календарно-сетевого планирования является MS Project. Данное программное обеспечение широко применяется для планирования, координации и контроля сроков строительных проектов. Ниже представлен календарный график проекта, разработанный в MS Project, в который были интегрированы стадии жизненного цикла проекта и реализован метод контроля по шагам (рис. 3).

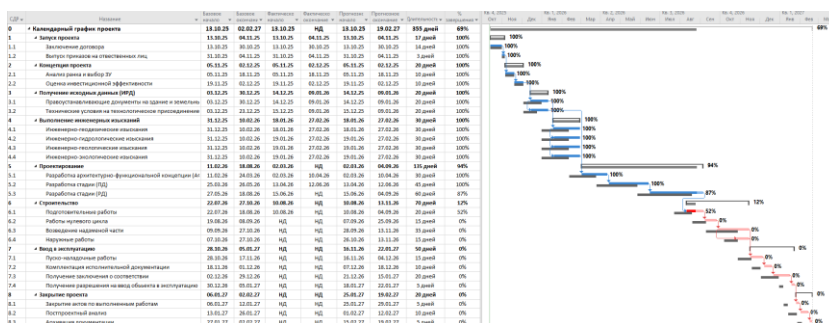


Рис. 3. Календарный график проекта в MS Project

В столбце с наименованием «% завершения» были выставлены проценты выполнения каждой стадии проекта и выведен общий

процент выполнения по проекту. На основании этих данных руководители проекта могут отслеживать отклонения от плана.

Представленный подход сочетает в себе декомпозицию работы (WBS), календарно-сетевое планирование (CPM) и осознанный выбор метода учета прогресса. Пошаговый метод обеспечивает наилучшую чувствительность управления, а программа для календарного планирования формирует единое поле «план-факт» и позволяет быстро корректировать график. На практике такой контур не только обеспечивает соблюдение сроков на этапах с жесткими ограничениями (например, земляные работы в городе), но и становится инструментом анализа и оптимизации: он делает видимыми узкие места, перегруженные интерфейсы, избыточные запасы и ненужные перемещения. Это позволяет сравнить фактический такт с базовым и обосновать целевые вмешательства (перенастройка «окон», выравнивание нагрузки и изменение положения технологических карманов). В результате поток стабилизируется, потери сокращаются, а оборудование, люди, пространство и бюджет используются экономно и по назначению. Опыт крупных городов России, таких как Москва и Санкт-Петербург, подтверждает эффективность предложенных подходов. Раздельный сбор и повторное использование строительных отходов, сокращение объема земляных работ стали неотъемлемой частью градостроительных практик. Внедрение инновационных методик помогает эффективно решать проблему экологической ответственности и способствует улучшению качества городской среды.

Таким образом, цифровая революция открывает широкие перспективы для оптимального управления строительными отходами, способствуя устойчивому развитию и повышению конкурентоспособности строительных компаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котовская М. А. Развитие календарного планирования поточного строительства на основе метода критической цепи и статистического моделирования / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Санкт-Петербург: СПбГАСУ – 2015.

2. Бовтеев С. В. Информационные технологии в строительстве. Управление строительными проектами в среде Microsoft Project 2013 Professional: учеб. пособие / С. В. Бовтеев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 292 с.

3. Бовтеев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов // Управление проектами: идеи, ценности, решения : Материалы I Международной научно-практической конференции; Санкт-Петербург; 15-17 мая 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 188-194.

4. Яркова О. Н., Сидоренко Н. А. Моделирование сроков строительства дискретными цепями Маркова // Инженерный вестник Дона. 2024. № 2 (110). С. 506-519.

5. Бовтеев С. В., Мишакова А. В. Возможности применения метода оценки и анализа программ для контроля сроков строительного проекта / С. В. Бовтеев, А. В. Мишакова // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 4 (81). – С. 115-121.

6. Бовтеев С. В., Третьякова З. В. Оценка возможности и эффективности цифровой трансформации гибких методов управления строительными проектами // Инновации и инвестиции. – 2024. – №9. – С. 173-177.

7. Попова О.А. Методы контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости с применением современных цифровых технологий // I Всероссийская научная студенческая конференция «Современная наука: вызовы, перспективы и возможности»; СПбГУПТД. – СПб., 2024. С.138.

8. Бовтеев С. В., Попова О. А. Оценка методов контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости на основе календарного планирования // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 11. С.582-587.

Скирдин Д. С., студент

Научный руководитель: ст. преп. Руденко О.Л.
*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИННОВАЦИИ В ДРЕВЕСНО-СЫРЬЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Древесно-сырьевая промышленность является одной из древнейших в мировой экономике и в настоящее время проходит фазу глубокой трансформации, связанной с тенденцией необходимости перехода к принципам устойчивого развития, для сохранения конкурентоспособности. Инновационные технологии внедряются в древесную отрасль, меняя основные принципы, повышая не только эффективность заготовки и первичной обработки, но и полное использование всей биомассы. Пиломатериалы больше не являются единственным продуктом производства. Все стремятся к достижению полного «Био-рафининга», он предусматривает древесину как ценнейший источник различных продуктов и материалов. В

совокупности технологий рождается современное успешное производство

Одно из ключевых направлений развития инноваций в промышленности, является цифровизация. Использование технологий для достижения наиболее точного лесопользования основывается на геоинформационных системах и данных дистанционного зондирования Земли, а также БПЛА(Рис.1), в совокупности позволяет проводить максимально точную таксацию лесных массивов, определять их состояние в реальном времени и оптимизировать маршруты лесозаготовительной техники. Благодаря этому уменьшается экологических ущерб и вместе с этим повышается продуктивность. Кроме того, на производственных площадках широко внедряются системы проектирования, такие как CAD/CAM и роботизированные линии сортировки и раскроя, что значительно повышает полезный выход более качественной продукции, а также снижает объем отходов.



Рис.1. Использование БПЛА на лесосеках в Красноярском крае

Следующим ключевым направлением является глубокая переработка отходов. Обычно кора, опилки, горбыль и щепа считаются побочными продуктами. В нынешнее время они являются ценным источником биоэнергетики. Особый интерес представляют технологии био-рефайнинга. Благодаря им возможно разделение древесины на различные составляющие: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин. Целлюлоза служит основой для производства не только бумаги, но и других материалов, к примеру, нанокристаллической целлюлозы, обладающей уникальной прочностью и применяемой в композитных

материалах, медицинской сфере и электронике. А лигнин используется в производстве биопластиков, связующих веществ и углеродных волокон. Древесина играет большую роль в химической промышленности, а ее отходы являются ценнейшим источником компонентов [1].

Третьим инновационным открытием в мире древесно-сырьевой промышленности стал значительный успех в создании новых материалов на основе древесины. Современные инженерные решения позволяют создавать такие продукты как кросс-ламинированная древесина (CLT) [2]. Данный материал позволяет возводить многоэтажные здания, конкурируя по прочности и огнестойкости с бетоном и сталью. Кроме того, активно развивается направление модификации древесины, например, пропитка полимерными маслами или термообработка, что придает материалу повышение твердости, стойкости к гниению и влаге, что позволяет открыть новые возможности для применения в экстерьере [3].

Инновацией так же можно считать внедрение в экономику предприятия принципов замкнутого цикла. Данная инновация требует участия всей отрасли, так как подразумевает переработку не только собственных отходов, но и о создании полного цикла переработки всех отходов на каждом этапе производства включая все возможные продукты древесно-сырьевой промышленности. Например, необходима разработка технологии эффективной переработки старых пиломатериалов, древесно-стружечных плит, а также бумажных упаковок во вторичное сырье. При достижении максимально эффективного цикла переработки можно достичь практически замкнутую систему использования сырья, вместо захоронения на свалках. Благодаря этому можно кратко повысить экологическую и экономическую стабильность и развитие лесохозяйственного сектора [4].

При условии следования данному пути промышленность уйдет от пустого ресурсопотребления в сторону высокотехнологического, наукоемкого и экологически чистого будущего с постоянно возобновляемыми ресурсами. Главные задачи инновационного производства включают: прозрачность и максимальная эффективность на этапе лесозаготовки, переход к безотходному производству за счет глубокой переработки всей биомассы и дальнейшее создание современных материалов. Успешное выполнение этих задач повысит экономическую рентабельность, экологичность и качество продукции [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Руденко, О. Л. Древесина как сырье для строительных конструкций / О. Л. Руденко // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 15 апреля 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 359-364. – EDN ZAIUCA.

Обоснование породного состава древесины CLT панелей для многоэтажных деревянных зданий / С. И. Овсянников, О. Л. Руденко, А. Р. Загуляева, Д. С. Скирдин // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов IX Международной научно-практической конференции, Белгород, 15 апреля 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 52-57. – EDN GZBOYX.

Овсянников, С. И. Деревянное домостроение за рубежом и в России / С. И. Овсянников // Наука и инновации в строительстве: (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства) : сборник докладов международной научно-практической конференции : в 2 т., Белгород, 21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 309-315. – EDN ZDXJUI.

Овсянников, С. И. Обоснование энергосберегающей технологии брикетирования древесины / С. И. Овсянников, Ю. Н. Нездоймышапка, А. С. Радионов // Современные технологии деревообрабатывающей промышленности: Материалы международной научно-практической онлайн-конференции, Белгород, 15–16 февраля 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 115-120. – EDN YQFUPB.

Овсянников, С. И. Экологические аспекты деревянного домостроения / С. И. Овсянников, И. Богданов, А. В. Федоренко // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: международная научно-техническая конференция, Белгород, 24–25 ноября 2015 года. Том II. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 236-241. – EDN VTVKVR.

**Смулярова В.С., студент,
Володина Е.В., студент,
Рудакова С.Р., студент**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, ст. преп.
Обернихина Я.Л.**

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

ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕПЛАСТИКОМ

Композиционные материалы, на основе углеродных волокон (CFRP), все чаще используются при усилении строительных конструкций, благодаря своим высоким физико-механическим свойствам, относительной простоте монтажа, а также устойчивости к коррозионным воздействиям.

Углепластик применяется для усиления железобетонных, каменных, металлических и деревянных конструкций, включая балки, колонны, плиты перекрытий, стены и фундаменты (рис. 1).



Рис. 1. Усиление конструкций углепластиком

В строительстве применяются различные формы композиционных материалов на основе углеволокна:

- однонаправленная лента – композиционный материал, в структуре которого более 85 % волокон, расположенных в едином направлении, что гарантирует достижение предельно высокой прочности;
- углеродная ткань – это двухосные полотно с разными плетениями. Существуют однонаправленные ткани, у которых волокна

ориентированы вдоль одной оси, что обеспечивает высокую прочность и модуль вдоль направления нагрузки, и мультиаксиальные ткани - слоистые конструкции с нитями, ориентированными в разных направлениях, что дает равномерную прочность в разных плоскостях;

– ламели – тонкие пластины из композиционного материала и сеток, изготовленные из углеродных волокон, соединенных полимерной матрицей.

История развития этой технологии берет начало в середине XX в, когда углеродное волокно было разработано для аэрокосмической и военной промышленности. Первые эксперименты в гражданском строительстве начались в 1970-х гг. Важными вехами стали применение углеволокна в 1983 г. для восстановления моста Ибараки в Осаке, укрепление колонн зданий в Токио после землетрясений в 1986 г., ремонт церкви Святого Якоба в Цюрихе в 1988 г. [4]. В 1990-е гг. появились ключевые стандарты – ACI 440 в США и Eurocode в ЕС, что способствовало массовому внедрению технологии [1][9]. К 2000-м гг. снижение стоимости углеволокна сделало его доступным для широкого применения [4]. Первый отечественный свод правил, регулирующий проектирование усиления конструкций внешним армированием, - СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования». Он был утвержден приказом Минстроя России от 8 августа 2014 г. №452/пр и введен в действие с 1 сентября 2014 г.

Технология усиления строительных железобетонных элементов внешним армированием углеволокном включает следующие этапы:

1. Диагностика и проектирование. Проводится обследование конструкции для выявления дефектов, расчет нагрузок и выбор типа материала (углеволокно, стекловолокно) в соответствии с СП 164.1325800.2014.

2. Подготовка поверхности. Очистка конструкции от пыли, грязи, старого покрытия и других загрязнений. Удаление поврежденных участков и их восстановление. Нанесение грунтовки для улучшения адгезии.

3. Подготовка армирующих материалов. Углеродные ленты, ткани или ламели нарезаются в соответствии с проектной разметкой. В зависимости от типа материала (однонаправленные ленты, двунаправленные ткани, ламели) выбирается метод монтажа.

4. Нанесение адгезива. Используются эпоксидные или полиуретановые смолы, которые обеспечивают надежное сцепление углепластика с поверхностью конструкции. Для ламелей связующий состав наносится как на конструкцию, так и на сам материал.

5. Монтаж углепластика. Ленты или ткани наклеиваются на подготовленную поверхность. При необходимости наносится несколько слоев для усиления эффекта. Для удаления воздушных пузырьков используется валик или шпатель.

6. Нанесение защитного слоя. Для защиты от механических повреждений, УФ-излучения и огня наносится финишное покрытие. В некоторых случаях требуется дополнительная обработка кварцевым песком для повышения стойкости к внешним воздействиям.

Технология внешнего армирования углепластиком позволяет эффективно решать задачи по усилению строительных конструкций, продлевая их срок службы и сохраняя архитектурные особенности объектов. Однако ее применение требует тщательного проектирования и соблюдения технологических норм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. – American Concrete Institute, 2008. – 76 p.

2. Hollaway L. C. Strengthening of reinforced concrete structures using fibre-reinforced polymer composites // L. C. Hollaway, J. G. Teng. – Woodhead Publishing, 2010. – 384 p. – ISBN 978-1-84569-605-6.

3. Meier U. Fiber Reinforced Polymers in Bridge Construction / U. Meier // Structural Engineering International. – 1992. – Vol. 2, No. 4. – P. 202–208. – DOI: 10.2749/101686692780633725.

4. Чернявский В. Л. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами / В. Л. Чернявский, Е. З. Аксельрод // Жилищное строительство. – 2003. – № 3. – С. 15–16.

5. ACI 440.2R. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.

6. Nanni A. Design and Construction Guidelines for Strengthening Reinforced Concrete Structures with FRP Laminates / A. Nanni, A. C. Bell, M. M. Rizkalla. – Structural Systems Research Project, University of Missouri-Rolla, 1996. – 84 p. Рем, А. Е. Усиление железобетонных конструкций на основе углеродного холста / А. Е. Рем, К. И. Кугаевский // Молодой ученый. – 2023. – № 20 (467). – С. 109–113.

7. Ищук Я. Л. Современные методы усиления железобетонных конструкций / Я. Л. Ищук, Н. В. Фролов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2016 года / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2016. – С. 784–788.

Степанов А.С., студент,
Дмитриев А.И., студент,
Володина Е.В., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Черныш А.С.
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ РАЗНЫХ СТРАН

Землетрясение представляет собой подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний.

Среди основных характеристик землетрясений выделяют: глубину очага; магнитуду; интенсивность на поверхности Земли.

Магнитуда землетрясения и баллы (балльность) – это разные понятия, которые характеризуют разные характеристики землетрясения.

Магнитуда по шкале Рихтера оценивается от 0 до 9 баллов, где 0 – значения, фиксируемые только датчиками, человек землетрясение не ощущает, 9 – значения, при которых подземные толчки приводят к разрушительным последствиям. Увеличение на единицу означает, что амплитуда колебания имеет десятикратное возрастание, а энергия землетрясения увеличивается в 30 раз.

Баллы (балльность) – интенсивность землетрясения, измеряет ущерб, нанесенный местности (насколько сильны разрушения).

Интенсивность землетрясений измеряется с помощью: 12-балльной шкалы MSK-64 (Сергея Медведева – Вильгельма Шпонхойера – Вита Карника), используется в России и наиболее широко распространена в мировой практике; 12-балльной шкалы Джузеппе Меркалли (применяется в странах Северной Америки); 12-балльной европейской макросейсмической шкалы EMS (European

Немалая часть территории России располагается в зоне возможных сейсмических воздействий. Хотя общая сейсмическая обстановка характеризуется умеренными значениями, в Северокавказском, Дальневосточном, Южносибирском регионах интенсивность землетрясений может достигать 9 баллов по 12-балльной шкале, а в отдельных зонах европейской части России – до 7 баллов.

С целью обеспечения безопасности зданий и сооружений при воздействии сейсмических нагрузок был разработан СП «Здания

сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования» с требованиями к разработке проектов нового строительства, реконструкции и усиления существующих конструкций в районах с сейсмичностью до 9 баллов.

Российские требования существенно более жесткие, чем требования в западных странах [4].

Среди технологий и материалов, разработанных в России, можно отметить следующие:

Сейсмоизолирующие системы с выключающимися связями была разработана в ЦНИИСК им. Кучеренко. Область ее применения – здания жесткой конструктивной схемы с гибким первым этажом. Идея работы такой системы – это снижение жесткости несущих конструкций гибкого этажа при землетрясении. Считается, что область применения системы с выключающимися связями – это здания с периодом собственных колебаний не более 0,5...0,7 с. Конструктивно в состав первого этажа включают специальные элементы, повышающие жесткость здания на стадии нормальной эксплуатации и выключающиеся из работы при достижении колебаниями определенных амплитуд.

Резинометаллические опоры по методу Ю.Д. Черепинского включают нижнюю и верхнюю части, образующие замкнутую камеру с промежуточной подушкой из шариков и смазки (рис. 1). Нижняя часть представляет собой втулку с резьбой (снижает трение, обеспечивает защиту от коррозии) и болт (создает предварительное напряжение в промежуточной подушке). Верхняя часть имеет состав из опорной плиты, направляющей обоймы и конического сердечника (снижает удельное давление на внутреннюю поверхность опоры). Жесткость верхней части обеспечена ребрами и полостью, которая заполнена бетоном. Опоры закрепляются в опорные плиты при помощи анкерных болтов.

Системы сейсмозащиты с кинематическими опорами – достаточно простое с технической и технологической стороны решение, обеспечивающее, вместе с тем, высокий уровень снижения инерционных сил в конструкциях зданий (рис. 2).

Опорные кинематические фундаменты создают шов скольжения между опертым на грунт фундаментом и надземной частью здания, тем самым, разделяя их перемещения в случае сейсмических воздействий (рис. 3). Шов создается при помощи опорных элементов – тел вращения определенной формы, или иначе, кинематических опор, на которые опирается надземная часть здания. Для снижения сил трения используются фторопластовые прокладки на контакте тел вращения с бетонными частями здания [6].

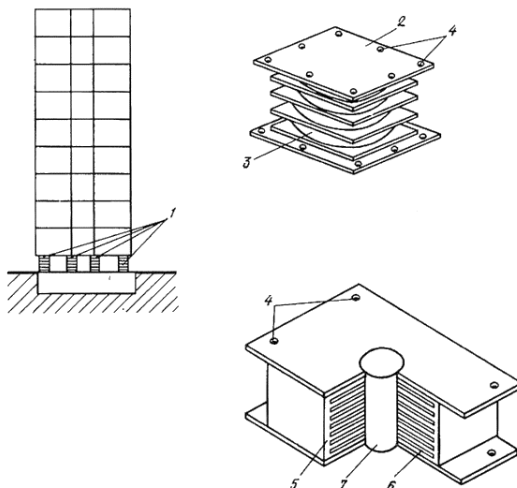


Рис. 1. Сейсмоизоляция здания с помощью резинометаллических опор:
1 – опора, 2 – стальная плита, 3 – слой неопрена, 4 – отверстия для анкерных болтов, 5 – резина, 6 – сталь, 7 – свинец

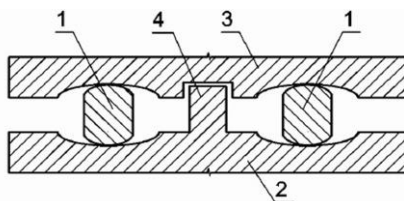


Рис. 2. Конструктивное решение кинематического фундамента:
1 – кинематические опоры, 2 – опорный фундамент, 3 – нижнее перекрытие здания, 4 – демпферы скольжения

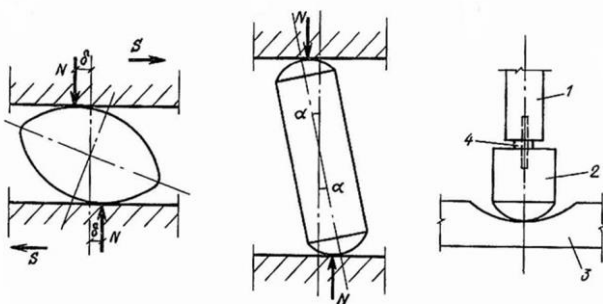


Рис. 3. Кинематические опоры, используемые для сейсмоизоляции зданий:
1 – колонна, 2 – подлокотник, 3 – опорная плита, 4 – центрирующая шайба

Наряду с вышеописанными методами используется применение связевых или рамно-связевых каркасов, которые благодаря свободным болтовым соединениям обеспечивают устойчивость конструкций к воздействию внешних динамических нагрузок и соответственно достаточно высокую степень сейсмостойкости.

Также стоит учитывать и материалы. Так, здания из армированного бетона способны выдержать землетрясение 8-9 баллов. Это самые безопасные здания во время стихийного бедствия. Поскольку дом представляет собой литую конструкцию, при худшем сценарии завалится набок, но не обвалиться как кладка.

Своим опытом проектирования в сейсмичной местности впечатляют и зарубежные проектировщики. Японцы при строительстве зданий и сооружений стараются применять такие технологии, которые повысят сейсмостойкость объектов.

Например, при строительстве 17-ти этажного жилого здания в Токио применялись сейсмические амортизаторы на роликовых подшипниках.

Также японские проектировщики довольно часто используют различные демпферы, которые гасят сейсмические колебания. Демпфирование позволяет переводить кинематическую энергию колебаний системы в другие виды энергии. Для использования этого свойства энергии в конструкцию зданий включают специальные устройства, задачей которых является увеличение рассеивания энергии для снижения ускорений и инерционных сил в системе [3].

Проектировщики Китая предложили оригинальное нововведение, создать площадку, которая будет сейсмически изолирована. По форме такая площадка будет похожа на платформу. Такой вид конструкции уже был применен на практике при проектировании железнодорожного вокзала и терминала метрополитена. Была запроектирована и построена двухэтажная железобетонная каркасная платформа, предназначенная для размещения на ней оборудования и средств технического обслуживания железнодорожного вокзала и терминала метрополитена и обеспечения поглощения шума от движения поездов. Размер платформы составляет 1500 м в ширину и 2000 м в длину. Слой с резинометаллическими опорами расположен на верхнем этаже платформы. Над платформой построено 50 жилых домов. Общая площадь всех изолированных жилых домов около 480000 м², что является самой большой в мире сейсмоизолированной областью [2].

В современном японском строительстве применяется комплекс технологий для защиты зданий от землетрясений. Утепление полов служит для изоляции конструкций от земли, а резиновые амортизаторы в основании предотвращают наклон и контролируют горизонтальные колебания.

Сейсмоизоляторы, установленные на вертикальных опорах и фундаментах, существенно снижают тряску на верхних этажах. Особенно эффективно их применение в высотных зданиях и общественных местах. Ярким примером служит городская больница Башакшехир Чам и Сакура, оснащенная 2068 сейсмоизоляторами – крупнейшее в мире сейсмоизолированное здание.

Амортизационные системы поглощают до 50 % энергии землетрясения, равномерно распределяя нагрузки между верхней и нижней частями здания. В высотных сооружениях применяется маятниковый метод, который централизует усилия и предотвращает боковые колебания, повышая сейсмостойкость.

Для усиления конструкций используются углеродные волокнистые покрытия, размещаемые между колоннами. Они значительно повышают прочность здания и его устойчивость к сейсмическим нагрузкам. Стальные поперечные каркасы обеспечивают целостность структуры, эффективно передавая возникающие при землетрясении нагрузки обратно в грунт и минимизируя повреждения [5].

Виды сейсмоустойчивых фундаментов очень разнообразны, и постоянно совершенствуются. Такой комплексный подход к сейсмической защите позволяет создавать надежные и безопасные здания, способные противостоять разрушительным последствиям землетрясений. Проанализировав различные виды сейсмоустойчивых конструкций и последние землетрясения, можно с уверенностью сказать, что российская школа строительства дает более надежный результат при землетрясении 7-8 баллов (по 12-бальной шкале), а при землетрясении более 9 баллов следует применять системы с демпфированием, развитые в основном в Японии и Китае.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антикоррупционная стратегия Российской Федерации на 2018–2025 годы: утв. Президентом РФ 16.01.2018 № Пр-17: [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента РФ. – URL: (дата обращения: 15.10.2025). – Текст: электронный.

2. Проектирование зданий в сейсмически активных регионах [Электронный ресурс] // ОсноВА. – URL: (дата обращения: 15.10.2025). – Текст: электронный.

3. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств / А. В. Гордиенко, В. А. Гордиенко // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 4. – URL: (дата обращения: 15.10.2025). – Текст: электронный.

4. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом / С. А. Нанаев, М. С. Нанаев // Инженерные системы и

конструкции. – 2020. – № 3. – URL: (дата обращения: 15.10.2025). – Текст: электронный.

5. Earthquake-resistant structures with seismic isolation and other methods [Электронный ресурс] // Rönensans Holding. – URL: (дата обращения: 15.10.2025). – Текст: электронный.

6. Анализ причин деформации зданий и сооружений и мероприятия по их устранению / Т.Г. Калачук, А.И. Калачук // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс] // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – URL: (дата обращения: 16.10.2025). – Текст: электронный.

Толмачев М.Ю., магистрант

**Научный руководитель: канд. техн. наук, проф.
Кочерженко В.В.**

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

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ОБОЛОЧЕК ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ

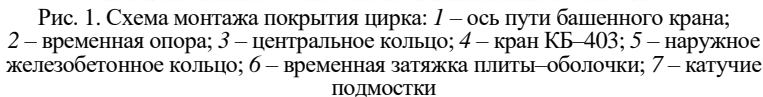
Своды и оболочки из сборных железобетонных элементов позволяют перекрывать большие площади одноэтажных промышленных зданий без промежуточных колонн при минимальном расходе материалов.

Существует 4 способа монтажа конструкций оболочек:

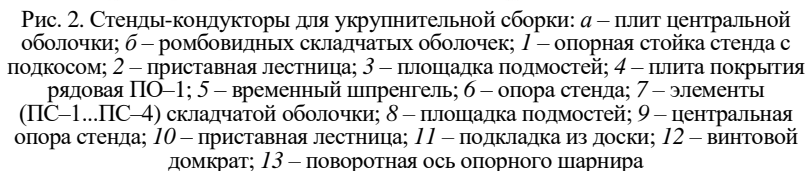
- с использованием инвентарных лесов и подмостей (рис. 1);
- сборка оболочек на земле, с последующим подъемом на проектную отметку;
- монтаж оболочек на проектных отметках с использованием телескопических кондукторов;
- монтаж на земле и подъем на проектную отметку при помощи четырех монтажных машин.

При сборке оболочек с опиранием на несущие конструкции здания, кроме предварительного укрупнения элементов, применяют грузозахватные устройства, исключая возникновение в элементах дополнительных напряжений при монтаже.

Необходимость в сборке на монтажных поддерживающих устройствах может возникнуть для длинных составных предварительно напряженных оболочек, масса и габарит которых исключают монтаж в целом виде.



Монтаж сводится к подъему собранной на земле оболочки выше проектной отметки, развороту ее в проектное положение и установка на оголовки колонн (рис. 2).



Сборка на проектных отметках – основной технологический метод строительства оболочек в нашей стране. Сборку на проектных отметках можно осуществлять на монтажных поддерживающих устройствах или с опиранием укрупненных элементов на несущие конструкции здания. Сборку оболочек на монтажных поддерживающих устройствах довольно широко применяли как при монтаже покрытий промышленных зданий, так и при устройстве отдельно стоящих большепролетных оболочек.

Оболочки двоякой кривизны размером 36×36 м монтируют на проектных отметках с использованием инвентарных кондукторов, перемещаемых с позиции на позицию по рельсам на специальных тележках (рис. 3). Кондуктор представляет собой пространственную металлическую конструкцию, которая повторяет по своему очертанию оболочку и опирается на четыре телескопические стойки с домкратами. Размеры кондуктора в плане на 6 м меньше монтируемой оболочки, масса 85 т.

Работы выполняют в таком порядке. На колонны устанавливают краном три предварительно укрупненные контурные фермы оболочки (рис. 3, а). Затем устанавливают опоры кондуктора, две его продольные фермы и шесть первых криволинейных прогонов из одиннадцати (рис. 3, б) распорками. Плиты начинают монтировать с наиболее удаленных, следя за равномерностью загрузки кондуктора (рис. 3, в). После монтажа 72 плит из 144 устанавливают остальные пять криволинейных прогонов кондуктора (рис. 3, г). Монтируют четвертую контурную ферму (рис. 3, д) и остальные 72 плиты оболочки (рис. 3, е).

После замоноличивания плит и приобретения бетоном необходимой прочности, кондуктор опускают, предварительно сняв крепления, и с помощью двух пятитонных лебедок по рельсам передвигают на следующую стоянку.

Необходимость в сборке на монтажных поддерживающих устройствах может возникнуть для длинных составных предварительно напряженных оболочек, масса и габарит которых исключают монтаж в целом виде.

При монтаже мембранных покрытий навесным способом (рис. 4) с помощью раскатки монтаж постели выполняется блоками, включающими как минимум пару направляющих длиной на перекрываемый пролет и расположенными между ними поперечными элементами. В случае выполнения направляющих из гибких элементов блок собирают на спланированной площадке на уровне земли с последующим подъемом на проектную отметку полиспастами,

лебедками, траверсами или траверсами распорками. Монтаж постели, определяющей начальную форму поверхности мембранной оболочки, завершается выверкой ее геометрии и окончательным креплением к контуру. Поверхность монтажной сетки рекомендуется регулировать подтяжкой к упорам на контуре хвостовиков, которыми заканчиваются направляющие. В некоторых случаях монтаж постели можно выполнять поэлементно [5].

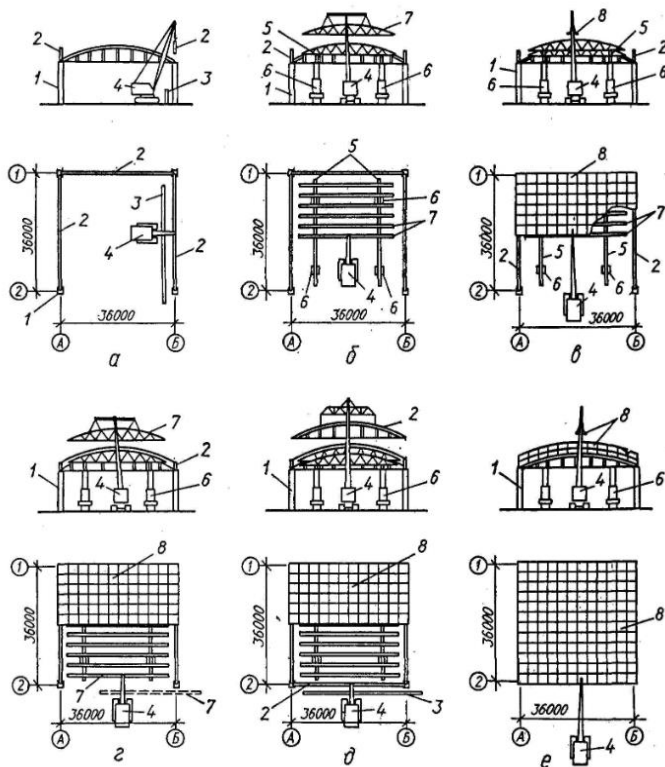


Рис. 3. Технологическая последовательность монтажа оболочки размером 36×36 м:
a – монтаж первых трех контурных ферм; *б* – установка кондуктора с первой половиной криволинейных прогонов; *в* – монтаж первой половины плит оболочки; *г* – укладка второй половины криволинейных прогонов кондуктора; *д* – монтаж четвертой контурной фермы; *е* – монтаж второй половины плит оболочки;
 1 – колонна; 2 – контурная ферма; 3 – стенд укрупнительной сборки ферм;
 4 – кран; 5 – главные фермы кондуктора; 6 – опорная стойка кондуктора;
 7 – криволинейный прогон кондуктора; 8 – плита оболочки

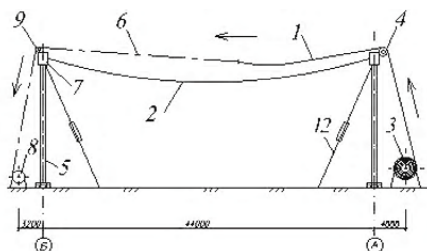


Рис. 4. Способ раскаткой полотнищ для монтажа большепролетного мембранного покрытия: *a* – навесной; *1* – стальная мембрана; *2* – направляющие элементы (постель); *3* – барабан с рулоном; *4* – подкладной барабан; *5* – постоянные опоры; *6* – строп для надвигки мембраны; *7* – опорный контур; *8* – лебедка; *9* – отводной блок; *10* – кран монтажный; *11* – траверса распорка; *12* – временные распорки

Раскатку свернутых в рулон на специальный барабан полотнищ мембраны по смонтированной и выверенной монтажной постели производят с помощью лебедок. Станок с барабаном устанавливается на опорном контуре или на земле за пределами сооружения. В последнем случае на опорный контур рекомендуется устанавливать приспособление в виде вращающейся катушки для плавного перегиба в этом месте полотнища при вытягивании на покрытие.

При монтаже мембранных покрытий навесным методом по предварительно навешенным элементам постели соединения полотнищ одного с другим рекомендуется выполнять после укладки и временного закрепления всех полотнищ в проектном положении (рис. 4)

Рассмотрим монтаж оболочек размерами в плане 36×36 м четырьмя различными способами (табл. 1)

Таблица 1

ТЭП методом монтажа

Способ монтажа	Расход стали	Расход бетона	Прод-ть дней	Труд-ть (ч/д)
С использованием инвентарных лесов и подмостей	-	-	60	544
Сборка оболочек на земле, с последующим подъемом на проектную отметку	-	-	48	522
Монтаж оболочек на проектных отметках с использованием телескопических кондукторов.	-	-	44	484
Монтаж оболочек навесным способом	-	-	46	501

Изучив вышеуказанные способы монтажа большепролетных оболочек положительной гауссовой кривизны, можно сделать вывод, что наиболее экономическим обоснованным способом является монтаж

оболочек на проектных отметках с использованием телескопических кондукторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочерженко В.В. Основы технологии возведения зданий и специальных сооружений: учебное пособие для студентов специальности 271101 - Строительство уникальных зданий и сооружений / В. В. Кочерженко, А. В. Кочерженко. - Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. - 225 с.

2. Кочерженко В.В. Технология строительных процессов: учеб. пособие для студентов строит. специальностей / В. В. Кочерженко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. - 306 с.

3. Кочерженко В. В., Сулейманова, Л. А., Кочерженко А. В. Технология и организация возведения большепролетных зданий и сооружений: учебное пособие; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. - 133 с.

4. Кочерженко В.В. и др. Технология и организация возведения большепролетных зданий и сооружений: учебн. пособ. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. -134с.

5. Технологические процессы в строительстве: учеб. пособие для студентов заоч. формы обучения с применением дистанц. технологий по направлению 270800.62 - Стр-во / В. М. Лебедев, В. В. Кочерженко, А. И. Никулин; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. - 279 с.

Фоменко О.С., студент

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Крючков А.А.

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

РАСЧЕТ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРЯМОУГОЛЬНОГО И КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА

Усиление и восстановление железобетонных конструкций с применением прогрессивных композиционных материалов в настоящее время получает широкое распространение.

Использование композиционных материалов в процессе усиления зданий и строительных конструкций предоставляет целый ряд значительных достоинств. Для них характерна исключительная

прочность в сочетании с небольшим весом, что дает возможность значительно увеличить несущую способность конструкций без существенного увеличения их массы. В отличие от традиционных материалов, композиты устойчивы к коррозионным процессам, что заметно продлевает период эксплуатации усиленных частей. Гибкость в применении позволяет приспосабливать данные материалы к всевозможным формам и размерам, делая их особенно подходящими для укрепления сложных архитектурных элементов. Кроме того, применение композитов способствует увеличению энергоэффективности строений благодаря улучшению характеристик теплоизоляции. В заключение стоит отметить, что значительное количество композитных материалов относится к категории экологически чистых и пригодных для повторной переработки, что делает их безопасным и экологичным решением в современных строительных технологиях [1-3].

Для сжатых железобетонных элементов одним из наиболее эффективных методов усиления является устройство композитной обоймы. Суть метода заключается в размещении усиливающего материала в поперечном направлении. Такая обойма эффективно ограничивает деформации бетона, создавая эффект обжатия. В результате этого происходит увеличение предельных деформаций бетона при сжатии. Другими словами, обжатие бетона композитной обоймой позволяет ему выдерживать большие нагрузки до разрушения.

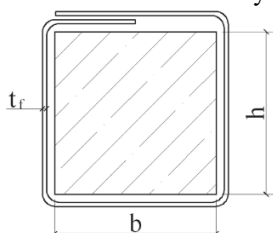


Рис. 1. Прямоугольное сечение усиленной колонны

Прямоугольные сечения колонн с соотношением сторон $b/h \leq 1,5$ и могут быть усилены для повышения несущей способности при осевом сжатии путем создания эффекта обоймы композитным материалом на направлении перпендикулярном оси элемента (рис. 1).

Необходимая толщина оболочки из композиционного материала для прямоугольного сечения определяется из

выражения:

$$t_f \geq 0,5k_h \left(\frac{bh}{b+h} \right), \quad (1)$$

$$k_h = \frac{0,8(\varepsilon_{bu} - 0,004)1,5R_b}{R_f \varepsilon_{fu}}, \quad (2)$$

где R_b – нормативное сопротивление бетона сжатию, кгс/см²; ε_{bu} = 0,003 максимальная деформация бетона при сжатии; R_f – максимальная

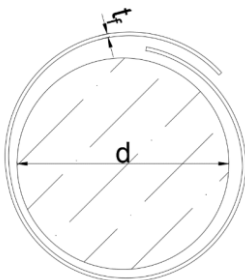


Рис. 2. Круглое сечение усиленной колонны

прочность на растяжение композита; ϵ_{fu} – максимальная деформация при растяжении композита, b – ширина сечения колонны, см; h – высота сечения колонны, см; t_f – толщина оболочки из композитного материала, см [4].

Для колонн с круглым сечением расчетное значение эксцентриситета приложения сжимающей силы должно быть менее $0,1D$ (рис. 2).

Толщина оболочки для такой колонны вычисляется следующим образом:

$$t_f \geq 0,5k_h \quad (3)$$

При проектировании должно соблюдаться условие:

$$E_f \epsilon_f \leq 0,75R_f, \quad (4)$$

где E_f – нормативное значение модуля упругости композитного материала, кгс/см²; ϵ_f – нормативная деформация растяжения композитного материала.

Прочность на сжатие бетонного элемента с напряжением в обойме σ_f можно вычислить с помощью выражения (5)

$$R_{bf} = R_b \left[2,25 \sqrt{1 + 7,9 \frac{\sigma_f}{R'_b} - 2 \frac{\sigma_f}{R'_b} - 1,25} \right], \quad (5)$$

где R_{bf} – прочность на сжатие бетонного элемента, кгс/см²; R'_b – расчетное сопротивление бетона сжатию, кгс/см²; σ_f – максимальные расчетные напряжения в обойме, кгс/см².

Выражение (5) раньше использовалось в расчетах эффективности стальной обоймы, исследования показали, что это выражение также применимо для бетонных элементов с обоймами из углеволокна. Прочность бетона в обойме можно вычислить с помощью выражения (5). Максимальные расчетные напряжения в обойме определяются выражением (6):

$$\sigma_f = \frac{k_a \rho_f \sigma_{fu}}{2} = \frac{k_a \rho_f \epsilon_{fe} E_f}{2}, \quad (6)$$

где ρ_f – ограничивающее давление, обеспечиваемое обоймой; σ_{fu} – расчетное напряжение в композитном материале, кгс/см²; ϵ_{fe} – расчетная деформация растяжения композитного материала; k_a – коэффициент эффективности [5].

Если элемент испытывает деформации сжатия и сдвига, расчетная деформация в обойме должна быть ограничена в соответствии с (7):

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75\varepsilon_{fu}, \quad (7)$$

где ε_{fu} – предельная деформация растяжения композитного материала.

Обойма из углеволокна в квадратных и прямоугольных элементах способна повысить предел прочности конструкции при сжимающих нагрузках. Коэффициент эффективности k_a круглых поперечных сечений принимается за единицу. Для элементов с квадратным или прямоугольным сечением данный параметр рассчитывается согласно формуле (8).

При использовании обоям из углеволокна увеличивается общая пластичность сечения из-за способности развивать при сжатии более высокую деформацию до разрушения. Обойма может также отсрочить искривление стальной продольной арматуры, работающей на сжатие, и усилить место нахлесточного соединения стальной продольной арматуры.

Коэффициент эффективности усиления для квадратных и прямоугольных сечений определяется на основе размеров поперечного сечения и степени армирования стержневой арматурой (8) (рис. 3):

$$k_a = 1 - \frac{(b - 2r)^2 + (h - 2r)^2}{3bh(1\mu - \mu_n)}, \quad (8)$$

где μ_n – коэффициент армирования стержневой арматурой сжатых элементов.

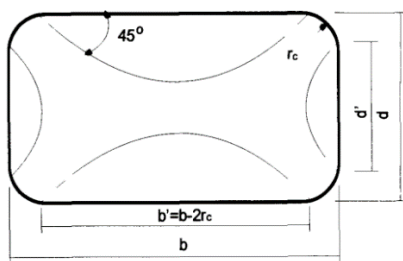


Рис. 3. Активные зоны при усилении прямоугольных сечений колонн

Следует учитывать, что для прямоугольных сечений с соотношением высоты к ширине, превышающим 1,5, или размерами поперечного сечения b или h , превышающими 900 мм, ограничивающим воздействием обоймы ФАС следует пренебрегать, если испытания не покажут ее эффективность [6].

Таким образом, усиление железобетонных элементов обоймами из полимер-композитных материалов является перспективным и эффективным методом повышения долговечности и надежности строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Георгиев С. В. Гибкие внецентренно сжатые железобетонные стойки, усиленные композитными материалами // Канд. дисс. техн. наук, Ростов-на-Дону, 2020. 7 с.
2. Косарев Л.В., Вавилов В.И., Болдырев Н.Ю., Добрынкина О.В., Костюкова Ю.С. Анализ достоинств и недостатков способа усиления железобетонных конструкций при помощи композитных материалов из углеволокна // Инновации и инвестиции. 2021. № 11. 156 с.
3. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Каргузов Д.М. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. – М.: ОАО «Издательство Стройиздат». 2007. 184с.
4. Ключев С.В., Рубанов В.Г., Павленко В.И. Расчет строительных конструкций, усиленных углеволокном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 54 – 55.
5. Клевцов В.А., Фаткуллин Н.В., Чернявский В.Л., Хаяутин Ю.Т., Аксельрод Е.З. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами – М.: ООО «ИнтерАква. 2006. С. 31 – 33.
6. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. – Москва. Минстрой России, 2015. 23 с.

Хурчак Ю.А., студент

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Фролов Н.В.**

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

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОПЕРАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА

Операционный контроль качества (ОКК) на строительной площадке – это фундамент, на котором держится надежность, безопасность и долговечность любого объекта. Традиционно этот процесс был связан с бумажной волокитой, субъективными оценками и запаздывающей реакцией на нарушения. Именно поэтому необходимо

признать важность комплексной аналитической работы по предотвращению нежелательных возможных ситуаций, которые могут сопровождать любую фазу жизненного цикла строительного объекта. [1] Сегодня цифровая трансформация кардинально меняет подход к качеству, превращая его из формальной процедуры в управляемый, прозрачный и эффективный процесс (рис. 1). Создание иерархической системы контроля за качеством организации строительства и технологических процессов посредством использования технологии информационного моделирования, на базе инновационных программ, на разнообразных стадиях строительного цикла является актуальным и обоснованным в связи с ее экономической эффективностью [2].



Рис. 1. От бумажных журналов к «умной» площадке

В традиционном подходе операционного контроля качества строительства существует ряд проблем. Бумажный документооборот: Акты, журналы работ, ведомости дефектов – их легко потерять, сложно искать, а актуальность информации постоянно отстает от реальности. Субъективность и человеческий фактор: Оценка качества часто зависит от опыта и добросовестности конкретного специалиста. Запаздывающая реакция: Дефект, обнаруженный на одном этапе, может быть скрыт последующими работами. Его устранение влечет за собой колоссальные затраты на переделку. Отсутствие единого информационного пространства: Данные разрознены между прорабами, поставщиками, подрядчиками и заказчиком, что приводит к ошибкам в коммуникации.

Чтобы не допустить данные ошибки в настоящее время все больше внедряют цифровые технологии. Ключевые цифровые технологии в операционном контроле качества.

1. Информационное моделирование зданий (BIM).

BIM – это не просто 3D-модель, это комплексный цифровой двойник объекта, содержащий всю информацию о нем.

Контроль по модели: Прораб на планшете сверяет выполненные работы (например, армирование или прокладку коммуникаций) с эталонной BIM-моделью. Любое отклонение фиксируется мгновенно.

Автоматизированные контрольные точки: в модель можно заранее заложить точки контроля (например, прочность бетона, шаг крепления), которые будут отображаться в задаче для инспектора.

Координация смежников: BIM помогает выявлять коллизии (столкновения инженерных систем) до начала монтажа на площадке, что является высшей формой профилактики брака.

Пример платформы: Autodesk BIM 360 / Autodesk Construction Cloud. Это ведущее решение, которое позволяет напрямую связать модель с полевым контролем. В модели создаются Issues (проблемы), которые привязываются к конкретному элементу и автоматически назначаются исполнителям. Альтернативой можно рассмотреть Nanosad.

2. Мобильные решения и облачные платформы.

Специализированные приложения для планшетов и смартфонов стали «рабочим местом» современного прораба. Облачный сервер обеспечивает анализ показателей здоровья в реальном времени с большой точностью, используя передовые алгоритмы и методы машинного обучения [3].

Цифровые чек-листы и акты: вместо бумажных бланков – стандартизированные формы на устройстве. Это исключает пропуск критически важных параметров для проверки.

Фото- и видеофиксация с геотегами: Каждый дефект фотографируется, и к нему автоматически привязываются координаты, дата и время. Это создает неопровержимую доказательную базу.

Мгновенное назначение задач: Обнаруженный дефект сразу же назначается ответственному подрядчику с дедлайном на устранение. Уведомление приходит ему в приложение.

Единая среда данных: Все участники проекта видят актуальный статус качества по объекту в реальном времени.

Платформы, которые применяют PlanRadar или Aproplan. Эти приложения позволяют быстро создавать дефекты прямо на планах объекта, добавлять фото, комментарии и назначать ответственных. Все данные синхронизируются в облаке в режиме реального времени для всех участников проекта. Решение работает с устройствами IoT для быстрой отправки данных на облачный сервер.

3. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и аэрофотосъемка.

Сегодня заложены важные основы для разработки полностью автоматизированной системы интеллектуального строительства и

отчетности, основанной на данных в реальном времени, полученных строителями непосредственно с БПЛА и дронов [4]. Дроны кардинально меняют контроль качества на больших площадях и высотных объектах.

Мониторинг прогресса и объемов: Регулярная аэрофотосъемка позволяет точно отслеживать ход работ и выполнение объемов, сравнивая снимки с календарным графиком.

Контроль недоступных зон: Инспекция кровли, фасадов, каркаса без риска для жизни и без дорогостоящего оборудования.



Рис. 2. Определение объема и нанесение результатов на ортофотоплан

Создание ортофотопланов и 3D-моделей: на основе данных с дронов строятся точные карты и модели, которые используются для контроля земляных работ, складирования материалов и т.д. (рис. 2).

Компания DJI (серия дронов Matrice) предоставляет профессиональные БПЛА для съемки. Полученные снимки обрабатываются в программном обеспечении для фотограмметрии, таком как Pix4D или DroneDeploy, которые строят точные ортофотопланы и 3D-модели для контроля.

4. Интернет вещей (IoT) и датчики.

К основным цифровым технологиям строительства принято относить в настоящее время, наряду с BIM, дополненную и виртуальную реальность (AR/VR), лазерное сканирование, робототехнику, 3D-печать, сборные конструкции и платформы, аналитическое программное обеспечение, блокчейн, Интернет вещей, решения для машинного обучения [5]. «Умные» датчики предоставляют объективные данные о процессе строительства и состоянии конструкций в режиме 24/7.

Контроль бетонирования: Датчики, встроенные в бетон, в реальном времени передают данные о температуре и прочности. Это позволяет точно определить момент распалубки и избежать повреждения не набравшей прочность конструкции. Датчики Giatec SmartRock. Это беспроводные датчики, которые помещаются в свежее уложенный бетон и через мобильное приложение передают

данные о термо-прочностных характеристиках, позволяя точно прогнозировать момент набора прочности.

Мониторинг вибраций и деформаций: Датчики на соседних зданиях или на возводимом каркасе фиксируют критичные отклонения, предупреждая об опасности. Компания Trimble предлагает геотехнические мониторинговые системы с использованием датчиков наклона и трещин, которые предупреждают о критичных отклонениях.

Учет материалов: Датчики на складах и в бетонных узлах автоматически отслеживают расход материалов.

5. Искусственный интеллект (ИИ) и компьютерное зрение.

Это передовой фронт развития цифрового контроля. В настоящее время многие компании развивают платформы для этого направления. Технологии машинного обучения, компьютерного зрения и нейронных сетей открывают возможности для автоматизации монотонных проверок, проведения более точной оценки характеристик материалов, а также предвидения их поведения в будущем [6].

Автоматический анализ изображений: ИИ-алгоритмы могут анализировать фото и видео с площадки, автоматически обнаруживая дефекты: трещины, отклонения от геометрии, отсутствие защитных элементов у рабочих.

Прогнозная аналитика: Система на основе исторических данных может прогнозировать риски возникновения дефектов и предлагать превентивные меры.

На данный момент можно выделить: платформа OpenSpace использует компьютерное зрение. Камера, закрепленная на каске рабочего, автоматически снимает панорамы объекта по мере его прохождения. ИИ сравнивает полученные изображения с BIM-моделью и планами, помогая выявить расхождения. Другие стартапы, like Doxel AI, используют роботов с лидаром для автономного сканирования и оценки процента выполнения работ с анализом качества. Также компания Deerseek создает очки виртуальной реальности, которые будут показывать на реальном объекте необходимый для проверки узел, они подтягивают всю необходимую проектную документацию, подсказывают необходимое решение, визуализацию и др. (рис. 3).

Преимущества внедрения цифрового ОКК.

Повышение качества: Снижение количества дефектов и их оперативное устранение. Экономия времени и средств: Сокращение затрат на переделку и оптимизация процессов. Прозрачность и ответственность: Каждое действие фиксируется, создается четкая картина ответственности. Объективность данных: Решения принимаются на основе цифровых данных, а не только личного опыта.

Упреждающий контроль: Возможность предотвращать ошибки, а не бороться с их последствиями.



Рис. 3. Визуализация объектов на этапе строительства

Цифровые технологии – это не просто замена бумажного журнала на планшет. Это философское изменение подхода к управлению качеством в строительстве. Они переводят ОКК из разряда затратной формальности в стратегический актив, который позволяет строить быстрее, дешевле и, что самое главное, надежнее. Компании, которые уже сегодня активно внедряют эти решения, получают решающее конкурентное преимущество на рынке, формируя новый стандарт отрасли.

Проблемы внедрения цифровых технологий связаны не только с высокой стоимостью необходимых инструментов и устройств, но и с отсутствием утвержденных нормативных документов. Поэтому возникает необходимость разработки цифровой информационной модели качества (ЦИМК), включенной в действующие нормативные документы по информационному моделированию строительства, что актуально не только для выполнения разных видов контроля качества на стадии строительства, но и для выявления дефектов на стадии эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трошин А. С., Столярова З. В., Лесовик Р. В., Есипов С. М., Лесовик Г. А. Анализ системы управления рисками на различных стадиях жизненного цикла строительных объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. № 11. С. 88-99.
2. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного

надзора на основе использования информационных технологий // Вестник Евразийской науки. 2019. №3. С. 1-9.

3. Ниматилаев Б.К., Омурбекова Г.К., Ташполотов Ы. Исследование методологии облачных технологий, совместимых с платформой Android и их возможностей // Вестник науки. 2025. №4 (85). Том 3. С. 854 - 861.

4. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон технологии в строительстве – современные решения и возможности // Вестник Евразийской науки. 2020. №5. С. 1-12.

5. Акулов А.О., Рада А.О., Кононова С.А. Анализ современных видов контроля строительных работ и проблемы их развития // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 9. С. 73-79.

6. Мункуев А.М., Заяханов М.Е. Контроль и оценка качества строительных материалов с использованием искусственного интеллекта // Вестник науки. 2025. № 5 (86). Том 3. С. 1747-1758.

**Шаповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант,
Трошкина В.Б., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Абакумов Р. Г.**

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

ТАКТИЛЬНЫЙ УРБАНИЗМ: КАК AR И IOT ПОМОГАЮТ СОЗДАВАТЬ ИНКЛЮЗИВНУЮ СРЕДУ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЕЩЕ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Тактильный урбанизм: интеграция дополненной реальности и интернета вещей для формирования инклюзивной городской среды на стадии проектирования

Актуальность проблемы: Преодоление средовых барьеров

Современная градостроительная практика нередко характеризуется недоучетом потребностей людей с ограниченными возможностями здоровья. Элементы городской инфраструктуры, такие как лестничные пролеты, неинформативные указатели, недостаточная ширина дверных проемов и пространств общественного пользования, формируют непреодолимые препятствия для данной категории граждан, ограничивая их участие в социально-экономической жизни общества. Сложность усугубляется тем, что даже при реализации

проектов, направленных на повышение доступности, проектировщики зачастую руководствуются нормативными требованиями без глубокого анализа практического опыта конечных пользователей.

В качестве концептуального решения обозначенной проблемы выступает тактильный урбанизм – подход, акцентирующий значение мультисенсорного восприятия городского пространства. Дальнейшее развитие данного направления связывается с применением перспективных технологий, таких как дополненная реальность (Augmented Reality, AR) и Интернет вещей (Internet of Things, IoT). Их интеграция в процесс проектирования позволяет перейти от адаптации существующей среды к изначальному закладыванию принципов инклюзивности в концепцию городских объектов, что способствует созданию интеллектуальной и адаптивной среды, отвечающей разнообразным потребностям населения [1].

Дополненная реальность, обеспечивающая наложение цифровых данных на физическое окружение посредством специализированных устройств (смартфонов, планшетов, AR-очков), открывает новые возможности для проектировщиков в сфере создания инклюзивной среды [1].



Рис. 1. «Городская гостиная» (Stadtflounge) в центре небольшого швейцарского города Санкт-Галлен [3]

Иммерсивное прототипирование в натуральную величину.

Методология: Специалисты получают возможность проводить апробацию проектных решений непосредственно на территории будущей реализации. Использование AR-гарнитуры позволяет визуализировать виртуальные макеты проектируемых элементов (пандусов, тактильных указателей, зон отдыха) в их реальных габаритах и местоположении [1].

Вклад в инклюзивность: обеспечивает оперативную оценку эргономических параметров и уровня безопасности. Позволяет проверить соответствие ширины путей передвижения потребностям маломобильных групп населения, выявить потенциальные акустические помехи для незрячих граждан. Данный подход минимизирует риск дорогостоящих ошибок на последующих стадиях строительства.

Моделирование сенсорных ограничений для проектировщиков.

Методология: Применение специализированного программного обеспечения, симулирующего особенности восприятия людей с различными формами инвалидности (например, сужение поля зрения, нарушение цветовосприятия, полная потеря зрения). Это позволяет членам проектной группы субъективно оценить удобство и безопасность создаваемого пространства.

Вклад в инклюзивность: способствует формированию у проектировщиков эмпатии и глубокого понимания потребностей пользователей. Проектные решения начинают базироваться на предвосхищении потенциальных затруднений, а не на реагировании на уже возникшие проблемы.

Интерактивное вовлечение граждан в процесс проектирования.

Методология: Организация общественных обсуждений с использованием AR-технологий, позволяющих участникам, включая людей с инвалидностью, ознакомиться с трехмерной моделью проекта, интегрированной в реальный ландшафт, вместо изучения традиционных двумерных чертежей [3].

Вклад в инклюзивность: Гарантирует получение релевантной и конструктивной обратной связи от непосредственных пользователей, что повышает практическую ценность и уровень адаптивности финального проектного решения.

Если дополненная реальность служит инструментом визуального моделирования, то Интернет вещей представляет собой технологическую основу для создания «нервной системы» умного города, состоящей из сети связанных датчиков и устройств, собирающих и анализирующих данные в режиме реального времени.

Перспективные направления внедрения:

Системы адаптивной тактильной навигации.

Методология: Интеграция в элементы городской инфраструктуры (например, тактильную плитку) сенсоров присутствия и вибромоторов. При идентификации приближения пользователя с нарушениями зрения (через взаимодействие с его мобильным устройством) система активирует тактильные сигналы для корректировки маршрута или предупреждения об остановке [1].

Интеллектуальные системы регулирования пешеходных потоков.

Методология: Оснащение светофорных объектов камерами и лидарами для анализа скорости и плотности движения. Это позволяет автоматически продлевать фазу разрешающего сигнала для пешеходов, нуждающихся в дополнительном времени для пересечения проезжей части (людей на колясках, пожилых граждан). Для незрячих пользователей сигнал дублируется через мобильные устройства.

Вклад в инклюзивность: Создает безопасные и комфортные условия для всех участников дорожного движения, независимо от их физических возможностей и скорости передвижения.

Проактивный мониторинг и обслуживание объектов инфраструктуры.

Методология: Внедрение датчиков в критические элементы доступности (лифты, пандусы, дверные системы) для непрерывного контроля их технического состояния. В случае неисправности или блокировки объекта система автоматически уведомляет службы эксплуатации и параллельно перестраивает маршруты в навигационных приложениях для маломобильных граждан.

Вклад в инклюзивность: Обеспечивает поддержание функциональности инфраструктуры доступности на постоянной основе, что является критически важным фактором для независимой мобильности людей с инвалидностью [4].

Анализ международного опыта и пилотных проектов

Несмотря на то, что широкомасштабное внедрение рассматриваемых технологий находится на начальной стадии, мировая практика демонстрирует ряд успешных кейсов, подтверждающих их эффективность.

Project Sidewalk (США): изначально инициатива по краудсорсинговой оценке доступности городских территорий. В настоящее время проект развивается в направлении интеграции данных с IoT-сенсоров и использования AR-интерфейсов для предиктивного моделирования удобства маршрутов для незрячих людей [4].

Разработки интеллектуальных тротуаров (Япония, Великобритания): в мегаполисах, таких как Токио и Лондон, ведутся испытания систем, совмещающих традиционную тактильную плитку с IoT-решениями. Подобные системы не только выполняют навигационную функцию, но и собирают анонимные данные о пешеходных потоках для последующей градостроительной оптимизации.

Приложение «Microsoft Soundscape»: Данное программное решение использует технологию объемного 3D-звука для детального аудиоописания окружающего пространства, предоставляя слабовидящим пользователям контекстную информацию об объектах инфраструктуры. Анализ данных об использовании приложения

предоставляет урбанистам ценную информацию для совершенствования физической среды [4].

Интеграция AR с технологией информационного моделирования зданий (BIM): Ведущие архитектурные бюро применяют AR для виртуального инспектирования BIM-моделей. Это позволяет проводить всестороннюю проверку проектов на соответствие принципам универсального дизайна до начала строительных работ [2].

Заключение и перспективы развития: эволюция от тактильного к эмпатичному городу

Синергетический эффект от объединения принципов тактильного урбанизма с технологиями дополненной реальности и Интернета вещей знаменует собой *paradigm shift* в градостроительстве. На смену созданию статичной, унифицированной среды приходит проектирование динамичных, отзывчивых и чувствительных к потребностям пользователей *urban-экосистем* [4].

Ключевые векторы дальнейших исследований и разработок:

Создание цифровых двойников городских районов: Формирование виртуальных копий территорий для проведения комплексного моделирования и тестирования градостроительных решений на предмет их инклюзивности с привлечением методов искусственного интеллекта.

Исследование потенциала интерфейсов «мозг-компьютер» (BCI): Изучение возможностей применения нейротехнологий для обеспечения прямого взаимодействия людей с тяжелыми формами двигательных нарушений с элементами интеллектуальной городской инфраструктуры [4].

Развитие систем персонализированной городской среды: Реализация концепции, при которой параметры городского пространства (маршрутизация, тип оповещений) адаптируются под индивидуальные профили доступности пользователей при строгом соблюдении этических норм и защиты персональных данных.

Реализация указанных перспектив сопряжена с необходимостью решения ряда междисциплинарных задач, включая обеспечение кибербезопасности, разработку унифицированных международных стандартов и преодоление цифрового неравенства.

Таким образом, стратегической целью является не просто ликвидация физических барьеров, а формирование принципиально новой городской среды, которая не сегментирует жителей по признаку физических возможностей. Такой город, обладающий способностью к восприятию, анализу и адаптации, создает условия для полноценной интеграции каждого человека в общественную жизнь, что определяет его как среду, ориентированную на человеко-центричное развитие. Данная концепция представляет собой не утопический идеал, а достижимый вектор технологического и социального прогресса в урбанистике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория малых дел: тактильный урбанизм. Город. Статьи / [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://archsovet.msk.ru/article/gorod/teoriya-malyh-del-taktil-nyy-urbanizm> (дата обращения: 07.10.2025).
2. Р.Г. Абакумов, к.э.н., доцент БГТУ им. В. Г. Шухова г. Белгород, Российская Федерация. Развитие современного «Зеленого» строительства в России. Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова
3. What Is Sensory Urbanism? | ArchDaily / [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://www.archdaily.com/987764/what-is-sensory-urbanism> (дата обращения: 07.10.2025).
4. Community Facilities in Brazil That Make Room for People | ArchDaily [Электронный ресурс] // ArchDaily: [сайт]. – URL: https://www.archdaily.com/991022/community-facilities-in-brazil-that-make-room-for-people?ad_medium=widget&ad_name=related-tags-article-show (дата обращения: 10.10.2025).

**Шоповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант,
Трошкина В.Б., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Абакумов Р. Г.**

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

КОНЦЕПЦИЯ CONSTRUCTION-AS-A-SERVICE: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАРАДИГМЫ В АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Современный архитектурно-строительный комплекс переживает глубокий системный кризис, обусловленный нарастающим противоречием между стремительной динамикой технологического развития и институциональной консервативностью отраслевых подходов. Согласно развернутому сравнительному анализу McKinsey Global Institute, проведенному в 2023 г., строительная отрасль демонстрирует один из самых низких показателей внедрения инноваций среди основных секторов экономики - интегральный индекс цифровизации составляет всего 24 % против 65 % в промышленном производстве и 89 % в IT-секторе. Эта статистика убедительно подтверждается масштабным исследованием Oxford Economics, показывающим, что за последнее десятилетие производительность труда в строительстве выросла лишь на 14 % против 45 % в обрабатывающей промышленности и 67% в секторе

информационных технологий. Особую тревогу вызывает тот факт, что по данным Global Construction Survey, разрыв в эффективности между строительной отраслью и другими секторами экономики продолжает неуклонно увеличиваться, достигая уже 2,3 раза по показателю добавленной стоимости на одного работника.

Актуальность исследования определяется настоятельной необходимостью преодоления фундаментальных дисфункций традиционной модели строительной индустрии, которая демонстрирует свою системную несостоятельность в условиях современных вызовов. Согласно обстоятельным данным UN Environment Programme, опубликованным в 2022 г., строительный сектор ответственен за 38-42 % глобальных выбросов CO₂ и генерацию 30% твердых отходов, что делает его ключевым объектом внимания в контексте реализации Парижского соглашения по климату. Экономическая неэффективность проявляется в хронически низком коэффициенте использования коммерческой недвижимости - по данным JLL Research, в среднем по миру офисные помещения используются лишь на 40-60 % от потенциала, а торговые площади и того меньше – 35-55 %. Социальный аспект проблемы выражается в прогрессирующем ограничении доступа к качественной среде обитания для широких слоев населения, особенно в мегаполисах с высоким уровнем цен на недвижимость.

Научная проблема заключается в отсутствии комплексной методологии трансформации строительной отрасли на принципах сервисно-ориентированной парадигмы, учитывающей во взаимосвязи технологические, экономические и социальные аспекты. Существующие подходы к модернизации строительного комплекса носят фрагментарный характер и не позволяют достичь синергетического эффекта от внедрения инноваций. Особую сложность представляет необходимость одновременного преобразования технологических процессов, бизнес-моделей и нормативно-правовой базы, что требует разработки целостной концепции отраслевой трансформации.

Цель исследования состоит в разработке концептуальных основ модели Construction-as-a-Service как системного инструмента преодоления структурного кризиса строительной отрасли. Исследование направлено на создание комплексной платформы, объединяющей передовые технологические решения, прогрессивные бизнес-модели и эффективные механизмы управления жизненным циклом объектов недвижимости.

Задачи исследования включают многоаспектный анализ предпосылок и драйверов перехода к сервисной модели в строительстве, разработку теоретического фундамента SaaS, всестороннее исследование технологической платформы реализации и формирование детализированной дорожной карты внедрения. Особое внимание уделяется практическим аспектам адаптации международного опыта к российским

условиям и разработке механизмов преодоления институциональных барьеров.

Методы исследования включают системный анализ для выявления глубинных взаимосвязей между различными компонентами отраслевой системы, сравнительное исследование международного опыта внедрения сервисных моделей, математическое моделирование экономической эффективности и экспертные оценки перспектив развития. Важное место занимает метод case-study, позволяющий выявить закономерности успешной реализации концепции SaaS в различных условиях.

Теоретико-методологические основы SaaS представляют собой сложную философско-методологическую платформу, синтезирующую принципы циркулярной экономики, сервис-ориентированной архитектуры и устойчивого развития. Ее теоретический фундамент образуют три взаимосвязанных принципа, каждый из которых имеет глубокое концептуальное обоснование и практическую реализацию. Принцип эмерджентности предполагает, что ценностные характеристики пространства возникают в результате синергетического взаимодействия его элементов и не могут быть сведены к простой сумме свойств отдельных компонентов. Согласно исследованиям, Massachusetts Institute of Technology, проведенным в 2023 году, эмерджентные свойства архитектурной среды способны повышать продуктивность пользователей на 15-25% и снижать эксплуатационные расходы на 20-30% благодаря оптимальному сочетанию параметров микроклимата, акустики и визуального комфорта. Принцип антихрупкости означает способность системы не только сохранять устойчивость к внешним воздействиям, но и использовать их для развития и совершенствования. В контексте SaaS это выражается в создании адаптивных пространственных структур, способных эволюционировать под влиянием меняющихся требований. Исследования Stanford Center for Design Research убедительно демонстрируют, что антихрупкие архитектурные решения могут увеличивать жизненный цикл зданий на 40-50% за счет embedded гибкости и способности к трансформации. Принцип сервисизации отражает фундаментальный переход от модели владения активами к модели доступа к их функциональным возможностям. Согласно анализу Deloitte Insights, мировой рынок сервис-ориентированных моделей в недвижимости к 2025 г. достигнет 250 млрд долл., при этом ежегодный рост составляет 18-22% в различных сегментах.

Технологическая платформа реализации SaaS представляет собой сложный многоуровневый комплекс, включающий передовые решения в области мониторинга, материаловедения и управления. Современные системы мониторинга претерпевают радикальную трансформацию - от дискретных датчиков к интеллектуальным swarm-сетям, где каждый элемент обладает зачатками искусственного интеллекта и способен к автономному принятию решений. Исследования Siemens Building

Technologies показывают, что такие системы обеспечивают точность предиктивного обслуживания до 97-98 % и снижение эксплуатационных расходов на 25-35 % благодаря способности прогнозировать отказы оборудования за 72-96 ч до их возникновения. Достижения в области материаловедения открывают новые горизонты для создания самовосстанавливающихся конструкций. Технология бактериального бетона с штаммами *Bacillus pseudofirmus* демонстрирует впечатляющую эффективность автономного заживления трещин шириной до 0,8 мм, при этом стоимость обслуживания таких конструкций снижается на 40-45 %. Исследования TU Delft показывают увеличение срока службы конструкций на 30-40 % благодаря применению инновационных композитных материалов. Технологии распределенных реестров и смарт-контрактов обеспечивают принципиально новый уровень прозрачности и эффективности управления жизненным циклом объектов. Пилотные проекты IBM Blockchain Platform демонстрируют снижение транзакционных издержек на 45 % и увеличение прозрачности цепочек поставок на 60 % благодаря автоматизации процессов верификации и расчетов.

Анализ успешных кейсов реализации раскрывает практический потенциал концепции CaaS в различных сегментах недвижимости. Отель PARKROYAL COLLECTION Pickering в Сингапуре демонстрирует блестящую реализацию принципов CaaS в коммерческой недвижимости высшего класса. Этот инновационный проект включает sophisticated систему performance-based контрактов, где оплата осуществляется исключительно за достижение целевых показателей энергоэффективности и экологической performance, интегрированные зеленые технологии с производительностью 60 кг кислорода в день и автоматизированную систему управления ресурсами с экономией воды 45 %. Данные операционного мониторинга показывают впечатляющие результаты: снижение энергопотребления на 35 % compared to традиционных отелей аналогичного класса, увеличение доходности на 28 % за счет премиального позиционирования и привлечения экологически сознательных клиентов, срок окупаемости дополнительных инвестиций составляет 6,5 лет при расчетном сроке службы систем 25 лет. Офисный комплекс The Edge в Амстердаме представляет собой общепризнанный эталон реализации модели «space-as-a-service» в сегменте бизнес-недвижимости. Ключевые характеристики этого проекта включают revolutionary систему оплаты за фактическое использование пространства и достижение KPI продуктивности, sophisticated интеграцию IoT-платформы с 28 тыс. датчиков, отслеживающих параметры среды и поведение пользователей, автономную генерацию 102 % потребляемой энергии за счет интегрированных фотоэлектрических панелей и геотермальных систем. Экономические показатели проекта ставят новые ориентиры для отрасли: снижение эксплуатационных расходов на 70 % compared to традиционных

офисных зданий, коэффициент использования помещений достигает рекордных 85 %, рентабельность инвестиций составляет 9,2 % годовых при сроке окупаемости 8,3 года. Жилой комплекс Via Verde в Нью-Йорке демонстрирует успешную адаптацию принципов CaaS в сегменте доступного жилья. Проект включает инновационную систему оплаты за достижение параметров качества среды, интегрированные сельскохозяйственные системы, производящие до 30 % потребляемых жителями продуктов питания, передовые решения энергоменеджмента с экономией 40 % для стандартных жилых комплексов. Социальные эффекты проекта включают улучшение здоровья residents на 25 % по данным медицинского мониторинга, снижение уровня стресса на 35 % по результатам психологических исследований, формирование устойчивого сообщества с низкой текучестью жителей. Торговый центр Bullring в Бирмингеме представляет интересный пример реализации CaaS в retail-недвижимости. Проект использует sophisticated систему оплаты за достижение целевых показателей посещаемости и конверсии, интегрированные технологии анализа потребительского поведения, адаптивные пространственные решения, позволяющие трансформировать площади под изменяющийся спрос. Бизнес-показатели демонстрируют увеличение продаж на 22 % compared to традиционных торговых центров, рост арендных ставок на 15 %, снижение операционных расходов на 28 % благодаря оптимизации энергопотребления и обслуживания.

Барьеры внедрения и стратегии их преодоления требуют системного анализа и разработки комплексных решений. Нормативно-правовые ограничения представляют собой серьезный вызов для распространения концепции CaaS. Детальный анализ современного регулирования выявил критическое отсутствие стандартов для адаптивных систем и «живых» материалов, несовершенство методик оценки сервисной составляющей недвижимости, пробелы в регулировании вопросов ответственности за performance объектов. Для решения этих проблем предлагается создание specialized «регуляторных песочниц» для тестирования инновационных решений в контролируемых условиях, разработка комплексных отраслевых стандартов на основе BIM-моделирования и цифровых двойников, введение прогрессивной системы сертификации CaaS-провайдеров с регулярным аудитом качества услуг. Финансовые механизмы традиционного рынка недвижимости оказываются неадекватными для полноценной реализации концепции CaaS. Существующие подходы к оценке property не учитывают сервисный потенциал и long-term характеристики жизненного цикла объектов. Для преодоления этих ограничений требуется разработка sophisticated методологии оценки сервисного потенциала на основе анализа big data и предиктивной аналитики, создание specialized финансовых инструментов включая performance-based облигации и секьюритизацию сервисных потоков, внедрение комплексной системы мониторинга жизненного цикла

с блокчейн-верификацией показателей. Кадровый дефицит представляет собой один из наиболее сложных вызовов для перехода к CaaS. Современная система образования не готовит специалистов необходимого междисциплинарного профиля, отсутствуют программы подготовки по архитектурной бионике, цифровому менеджменту жизненного цикла, сервисной инженерии. Для решения этих проблем предлагается разработка инновационных образовательных программ, интегрирующих знания в области архитектуры, биологии, компьютерных наук и менеджмента, создание сети центров компетенций по digital twins и предиктивной аналитике, внедрение системы непрерывного профессионального развития с регулярной сертификацией компетенций.

Перспективы развития и дорожная карта внедрения основаны на комплексном анализе технологических трендов и рыночной динамики. Согласно sophisticated моделированию PwC Strategy&, к 2030 г. доля CaaS в коммерческой недвижимости достигнет 35–40 %, а в премиальном жилье – 20–25 %. Наиболее перспективными сегментами представляются healthcare-недвижимость с потенциалом роста 45 %, образовательные объекты с потенциалом 38 % и premium office с потенциалом 32 %. Детализированная дорожная карта внедрения включает несколько взаимосвязанных этапов. На первом этапе (2024–2026 гг.) предполагается создание комплексной нормативной базы и реализация пилотных проектов в ключевых сегментах недвижимости. На втором этапе (2027–2030 гг.) планируется масштабирование успешных практик и формирование экосистемы CaaS-провайдеров. На третьем этапе (2031–2035 гг.) ожидается полномасштабное внедрение концепции и достижение зрелости рынка. Критическими факторами успеха являются комплексное развитие цифровой инфраструктуры включая сети 6G и квантовые коммуникации, подготовка кадров нового поколения владеющих cross-functional компетенциями, формирование стимулирующего регуляторного поля, обеспечивающего баланс между инновациями и стабильностью.

Заключение подводит итоги исследования и определяет векторы дальнейшего развития. Construction-as-a-Service представляет собой revolutionary трансформацию строительной отрасли, основанную на глубоком синтезе технологических инноваций и сервис-ориентированной бизнес-модели. Разработанная концепция убедительно демонстрирует значительный потенциал для преодоления системного кризиса и перехода к устойчивой модели развития, сочетающей экономическую эффективность, экологическую ответственность и социальную ориентированность. Перспективы практической реализации связаны с решением комплекса сложных задач нормативного регулирования, финансового обеспечения и кадрового развития. Успешное внедрение CaaS потребует тесной консолидации усилий государственных институтов, бизнес-сообщества и научных организаций. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку детализированных

отраслевых стандартов, создание sophisticated методик оценки эффективности и адаптацию международного опыта к российским условиям с учетом климатических, экономических и культурных особенностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McKinsey Global Institute. Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity. - 2023. - 156 p.
2. UN Environment Programme. Global Status Report for Buildings and Construction. - 2022. - 89 p.
3. JLL Research. Future of Work Survey. - 2023. - 67 p.
4. Deloitte Insights. Commercial real estate and the as-a-service economy. - 2022. - 45 p.
5. Oxford Economics. Productivity in Construction: International Comparison. - 2023. - 78 p.
6. Massachusetts Institute of Technology. Emergent Properties in Architectural Design. - 2023. - 112 p.
7. Stanford Center for Design Research. Antifragile Systems in Architecture. - 2023. - 94 p.
8. Siemens Building Technologies. Predictive Maintenance in Smart Buildings. - 2023. - 83 p.
9. TU Delft. Self-Healing Materials in Construction. - 2023. - 76 p.
10. IBM Blockchain Platform. Smart Contracts in Construction. 2023. 68 p.
11. PwC Strategy&. Construction-as-a-Service Market Outlook. 2023. 91 p.

**Шаповалов М.М., магистрант,
Артемова К.А., магистрант,
Трошкина В.Б., магистрант**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.
Абакумов Р. Г.**

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

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ГОРОДА-САДЫ: АРХИТЕКТУРНО- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ АГРОФЕРМ И ЭКОСИСТЕМ В ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

Современные мегаполисы столкнулись с комплексным экологическим кризисом, характеризующимся нарушением природных циклов и деградацией городских экосистем. Согласно отчетам, UN-Habitat за 2023 год, города потребляют 75 % мировых природных ресурсов и производят более 50 % глобальных отходов, создавая беспрецедентную

нагрузку на окружающую среду. Особую актуальность приобретает проблема продовольственной безопасности - исследования Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) демонстрируют, что средняя дальность транспортировки пищевых продуктов в мегаполисы превышает 1000 км, создавая уязвимые логистические цепочки и увеличивая углеродный след на 25-30 %. Дополнительным вызовом является прогрессирующая потеря биоразнообразия в урбанизированных территориях. Мониторинговые исследования, проведенные в европейских городах, показывают, что за последние 30 лет популяции городских птиц и насекомых сократились на 40-60 %, что нарушает естественные процессы опыления и биологической регенерации. Ситуация усугубляется эффектом теплового острова, когда температура в центре мегаполиса может превышать показатели пригорода на 5-7 °С, создавая дополнительную нагрузку на системы кондиционирования и энергоснабжения.

Научная проблема заключается в отсутствии комплексных архитектурно-экологических решений, позволяющих интегрировать агропроизводство и природные экосистемы в структуру высотных зданий при обеспечении экономической целесообразности и соблюдении нормативных требований. Существующие подходы к озеленению городской среды часто носят фрагментарный характер и не учитывают потенциал синергии между различными технологическими решениями. Кроме того, отсутствуют методики оценки совокупной эффективности таких систем в долгосрочной перспективе.

Цель исследования - разработка и научное обоснование концепции вертикальных городов-садов как инструмента устойчивого развития урбанизированных территорий, включая архитектурные, инженерные и экономические аспекты. Исследование направлено на создание целостной модели, объединяющей лучшие международные практики с адаптацией к региональным особенностям.

Задачи исследования включают всесторонний анализ современных технологических решений для интеграции агроферм в высотные здания, оценку экологической и экономической эффективности реализованных проектов, разработку адаптированной модели для российских климатических условий и формирование рекомендаций по нормативно-правовому регулированию. Особое внимание уделяется практической реализации концепции с учетом технических ограничений и экономических реалий.

Методы исследования включают системный анализ для выявления взаимосвязей между различными компонентами системы, сравнительное case-study реализованных международных проектов, математическое моделирование энергоэффективности и оценку жизненного цикла (LCA) для определения совокупной экологической эффективности.

Современные вертикальные фермы используют многоуровневые гидропонные установки с точным контролем питательных веществ, что позволяет достигать продуктивности в 10-15 раз выше по сравнению с традиционным сельским хозяйством. Исследования, опубликованные в *Journal of Agricultural Engineering*, демонстрируют эффективность систем с рециркуляцией питательного раствора (closed-loop systems), позволяющих сократить водопотребление на 85-90 %. Эти системы основаны на принципе многократного использования обогащенной питательными веществами воды, что не только экономит ресурсы, но и предотвращает загрязнение окружающей среды. Аквапонические системы, интегрирующие рыбоводство и растениеводство, показывают продуктивность до 35 кг/м²/год овощей при одновременном производстве 15 кг/м²/год рыбы. Такие системы создают замкнутый экологический цикл, где отходы рыб служат питанием для растений, а растения естественным образом очищают воду [1].

Технические ограничения включают высокую энергоемкость (25-35 кВт·ч/м²/год), которая компенсируется использованием энергоэффективных LED-светильников с КПД 3.5 $\mu\text{mol/J}$ и спектральным составом, оптимизированным для фотосинтеза. Риск распространения патогенов минимизируется многоуровневой системой биологической безопасности, включающей УФ-стерилизацию, озонную обработку и биологические фильтры на основе полезных микроорганизмов. Стоимость оборудования составляет 500-800 евро/м² при сроке окупаемости 5-7 лет, что делает такие проекты экономически привлекательными при правильном проектировании и управлении [1].

Биофильные архитектурные решения представляют собой интеграцию природных элементов в архитектурную концепцию зданий. Инновационные решения включают двойные фасады с интегрированными теплицами, обеспечивающими пассивное теплосбережение и снижение энергопотребления на отопление на 25-30%. Эти системы работают по принципу термического буфера, где воздушная прослойка между фасадами аккумулирует тепло в зимний период и обеспечивает естественную вентиляцию летом. Спиральные атриумы с оптимальным светораспределением позволяют увеличить продуктивность агросистем на 15-20 % compared to традиционных планировок за счет равномерного освещения всех уровней и создания микроклиматических зон [1].

Конструктивные особенности вертикальных городов-садов требуют специального подхода к проектированию. Несущие конструкции должны иметь дополнительный запас прочности для учета веса грунта, растительности и водонасыщения - обычно это увеличивает расчетные нагрузки на 15-20%. Дренажные системы проектируются с многоступенчатой очисткой и рециркуляцией воды, что позволяет повторно использовать до 85% поливной воды. Интегрированные системы мониторинга параметров микроклимата включают датчики температуры,

влажности, освещенности и содержания CO₂, что обеспечивает оптимальные условия для роста растений и комфорт человека.

Проект Bosco Verticale в Милане представляет собой эталонный пример интеграции природных систем в высотное строительство. Детальный анализ проекта выявил следующие параметры: общая площадь озеленения составляет 20,000 м², включая 900 деревьев, 5,000 кустарников и 11,000 почвопокровных растений. Система полива является полностью автоматизированной и использует рекуперацию дождевой воды с эффективностью 85 %. Энергосберегающий эффект проявляется в снижении затрат на кондиционирование на 30 % благодаря испарительному охлаждению и затенению. Эксплуатационные данные показывают, что фактическое поглощение CO₂ составляет 19 тонн/год при заявленных 25 тонн, что связано с видовым составом растений и климатическими особенностями. Производство кислорода достигает 45 кг/день, а снижение температуры в летний период составляет до 3 °C по сравнению с традиционными зданиями. Эксплуатационные расходы составили 70,000 евро/год, что на 15% выше проектных показателей, в основном за счет обслуживания систем полива и замены растений [2].

Nanjing Vertical Forest в Китае демонстрирует адаптацию концепции к местным условиям. Сравнительный анализ эффективности показывает уникальные особенности проекта: биоразнообразие представлено 250 видами растений, преимущественно местными адаптированными видами, что обеспечивает лучшую устойчивость к климатическим условиям. Система мониторинга включает 500 датчиков контроля параметров среды, что позволяет оптимизировать режимы полива и питания растений. Водопотребление удалось снизить на 40 % compared to традиционных зданий сопоставимой площади за счет использования передовых систем рециркуляции. Экономический эффект проявился в повышении стоимости недвижимости на 22 %, что свидетельствует о рыночном признании концепции [2].

Проект "Urban Farming Office" в Хошимине демонстрирует интеграцию сельского хозяйства в офисное здание. На площади 5000 м² удалось организовать производство 35 тонн овощей ежегодно. Особенностью проекта стало сочетание аквапонических систем и традиционных методов земледелия. Система использует интеллектуальное управление микроклиматом с адаптацией к тропическим условиям, что позволило снизить энергопотребление на 40% compared to стандартных офисных зданий [3].

Проект "Tree House" в Сингапуре представляет собой жилой комплекс с интегрированными вертикальными фермами. Особенностью проекта стало создание многоуровневой экосистемы, где на разных этажах размещены различные agricultural зоны - от грибных ферм в подвальных помещениях до плодовых садов на крыше. Проект демонстрирует

снижение энергопотребления на 30 % и производство 15% потребляемых жителями продуктов питания [3].

Сравнительный анализ проектов позволяет выявить общие закономерности успешной реализации. Все успешные проекты характеризуются тщательным подбором растительного материала с учетом климатических условий, разработкой комплексных систем управления ресурсами и интеграцией зеленых зон в архитектурную концепцию с первых этапов проектирования. Критически важным является создание эффективной системы мониторинга и обслуживания, так как живые системы требуют постоянного внимания и адаптации к изменяющимся условиям [4].

Разработанная экономическая модель демонстрирует следующие показатели для среднеевропейских условий. Структура инвестиционных затрат распределяется следующим образом: строительные работы составляют 45-50 % от общей стоимости, инженерные системы – 25-30 %, агротехнологическое оборудование – 15-20 %, проектирование и сопровождение – 5-7 %. Операционные показатели включают срок окупаемости 8-12 лет, экономию на эксплуатационных расходах 25-35 % и дополнительный доход от агропродукции 15-20 % от общей доходности. Важным фактором является снижение рисков, связанных с колебаниями цен на энергоносители и продовольствие, так как здание частично обеспечивает себя этими ресурсами [5].

Анализ современных строительных стандартов выявил необходимость разработки специализированных нормативов для вертикальных городов-садов. Предлагаемые изменения включают введение категории «интегрированные агроэкологические системы» в СП 50.13330.2012, разработку методик расчета дополнительных нагрузок на конструкции от веса грунта и растительности, создание стандартов качества продукции вертикальных ферм и формирование требований к системам биобезопасности. Особое внимание должно быть уделено вопросам пожарной безопасности, так как растительность может представлять дополнительную угрозу в случае возгорания [6].

Для российских условий необходима адаптация международного опыта с учетом климатических особенностей. Разработана модифицированная модель, учитывающая сезонные колебания температур от -30 до +35°C, продолжительность отопительного периода 180-220 дней и уровень инсоляции 80-120 Вт/м² в зимний период. Технические решения включают трехслойные фасады с тепловыми буферами, комбинированные системы отопления с рекуперацией тепла и сезонное изменение структуры агропроизводства. Предложена программа реализации пилотных проектов, начиная с многофункциональных комплексов в Москве и Санкт-Петербурге в 2025-2027 гг., с последующей региональной адаптацией в различных климатических зонах РФ и разработкой типовых проектов для массового строительства после 2030 г. [7].

Проект "CaixaForum" в Мадриде представляет собой пример редевелопмента с интеграцией вертикальных садов. На фасаде здания площадью 460 м² размещено 15 000 растений 250 различных видов. Система автоматического полива с рекуперацией воды позволила снизить водопотребление на 50 %. Исследования показали снижение температуры фасада в летний период на 8-10 °С для традиционных зданий [8].

Проект «ACROS Fukuoka» в Японии демонстрирует интеграцию парка в архитектуру здания. На террасных крышах 14-этажного здания размещен парк площадью 50 000 м² с 50 000 растений 120 видов. Проект показал улучшение тепловой эффективности здания на 25 % и снижение затрат на кондиционирование на 30 % [9].

Проект "Marina One" в Сингапуре представляет собой комплекс из четырех башен с интегрированным «зеленым сердцем» – многоуровневым садом площадью 3700 м². Система включает 650 деревьев и 150 000 растений, создающих уникальный микроклимат. Проект демонстрирует снижение температуры в общественных пространствах на 4-6 °С и улучшение качества воздуха на 20 % [10].

Проведенное исследование подтвердило высокий потенциал концепции вертикальных городов-садов для устойчивого развития урбанизированных территорий. Разработанная модель демонстрирует возможность достижения значительных показателей эффективности: снижение энергопотребления на 30-40 %, сокращение водопотребления на 50-60 %, производство 15-25 % пищевой продукции непосредственно в городской черте. Эти результаты свидетельствуют о практической реализуемости концепции при условии комплексного подхода к проектированию и эксплуатации.

Перспективы развития связаны с решением ряда системных задач. Совершенствование нормативно-правовой базы должно обеспечить правовую основу для внедрения инновационных решений. Разработка типовых проектных решений для различных климатических зон позволит масштабировать успешный опыт. Создание системы государственной поддержки, включая налоговые льготы и субсидии, ускорит внедрение концепции. Формирование образовательных программ для специалистов обеспечит подготовку кадров, способных эффективно реализовывать и эксплуатировать такие complex systems.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию технологических решений для российских условий и разработку экономических моделей, учитывающих региональные особенности. Особое внимание будет уделено вопросам энергоэффективности в условиях низких температур и разработке адаптивных систем управления, способных реагировать на изменяющиеся климатические условия. Переход к модели вертикальных городов-садов представляет собой не только технический вызов, но и возможность коренным образом изменить

подход к проектированию городской среды, создавая симбиоз между урбанизированными территориями и природными экосистемами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. UN-Habitat. World Cities Report 2023: Envisaging the Future of Cities. - Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2023. - 280 p.
2. FAO. Urban agriculture for sustainable poverty alleviation and food security. - Rome: Food and Agriculture Organization, 2022. - 145 p.
3. Benke, K. Vertical farming: Environmental control and energy management / K. Benke, B. Tomkins // Journal of Agricultural Engineering. - 2023. - Vol. 54, No. 2. - P. 112-125.
4. Kozai, T. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production / T. Kozai, G. Niu, M. Takagaki. - Academic Press, 2022. - 405 p.
5. Boeri, S. The Vertical Forest: A New Model of Urban Densification / S. Boeri // Architectural Design. - 2021. - Vol. 91, No. 3. - P. 45-53.
6. Boeri Studio. Bosco Verticale: Guidelines for Vertical Forests. - Milan: Boeri Studio, 2023. - 89 p.
7. Nanjing Vertical Forest Project: Technical Report and Performance Analysis / China Academy of Building Research. - Beijing: CABR Press, 2022. - 134 p.
8. BREEAM International New Construction 2022. Technical Manual. - BRE Global Ltd, 2022. - 210 p.
9. ГОСТ Р 58892-2020. Системы фитоочистки воздуха в зданиях. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ, 2020. - 45 с.
10. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. - М.: Минрегион России, 2012. - 96 с.

Научное издание

X Международный строительный
форум молодых ученых - 2025

Сборник докладов

Ответственный за выпуск **Сулейманова** Людмила Александровна

Компьютерная верстка **Богачева** Марина Александровна

Подписано в печать 20.12.25. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 20,2. Уч.- изд. л. 21,8.

Тираж 50 экз. Заказ № Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

