

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Сборник статей участников  
III Национальной (Всероссийской)  
научно-технической конференции

Санкт-Петербург  
2025

УДК 69

*Рецензенты:*

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информатики и компьютерных технологий *Вячеслав Юрьевич Иванов* (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II);

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерных образовательных технологий *Дмитрий Геннадьевич Штенинков*  
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

**Перспективы современного строительства : Сборник статей участников III Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025.– 549 с. – Текст : непосредственный.**

ISBN 978-5-9227-1473-0

Представлены статьи участников III Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции «Перспективы современного строительства». Содержит публикации по тематическим секциям: техносферной безопасности, геотехники, железобетонных и каменных конструкций, металлических и деревянных конструкций, технологиям строительных материалов и метрологии, архитектурно-строительных конструкций, строительной механики, организации строительства, технологиям строительного производства.

*Редакционная коллегия:*

канд. техн. наук, доцент *Андрей Николаевич Никулин*  
(председатель редколлегии);

д-р экон. наук, профессор *Любовь Григорьевна Ворона-Сливинская*;

канд. техн. наук, доцент *Максим Вилленинович Молодцов*;

канд. техн. наук, доцент *Владимир Мирович Попов*;

д-р техн. наук, профессор *Лидия Никитовна Кондратьева*;

канд. техн. наук, доцент *Павел Сергеевич Коваль*;

канд. техн. наук, доцент *Михаил Ильич Жаворонков*;

канд. техн. наук, доцент *Владимир Николаевич Елистратов*;

канд. техн. наук, доцент *Олег Владимирович Голых*;

канд. техн. наук, доцент *Александр Сергеевич Глуханов*;

канд. архит., доцент *Ольга Александровна Пастух* (ответственный секретарь)

ISBN 978-5-9227-1473-0

© Авторы статей, 2025

© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2025

## СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**УДК 331.45(075.32)**

*Полина Сергеевна Макеева,  
студент*

*Марина Владимировна Графкина,  
д-р техн. наук, профессор  
(Московский политехнический  
университет)*

*E-mail: pol.makeewa2012@yandex.ru*

*Polina Sergeevna Makeeva,  
student*

*Marina Vladimirovna Grafkina,  
Dr. Sci. Tech., Professor  
(Moscow  
Polytechnic University)*

*E-mail: pol.makeewa2012@yandex.ru*

### **СУОТ ООО «МЕСА»**

### **OHSMS LLC “MESA”**

В статье рассмотрены ключевые аспекты организации системы управления охраной труда (СУОТ) в ООО «Меса» – генеральном подрядчике строительства жилого комплекса «Wave» (1-я очередь). Проанализированы основные риски, методы контроля за подрядными организациями, результаты внедрения цифровых решений и аудитов. Предложены меры по совершенствованию СУОТ, включая обучение персонала и интеграцию современных технологий.

*Ключевые слова:* СУОТ, охрана труда, строительство, подрядные организации, жилой комплекс «Wave», аудит безопасности.

The article examines key aspects of the organization of the occupational health and safety management system (OHSMS) in LLC Mesa, the general contractor for the construction of the residential complex Wave (1st stage). The main risks, methods of control over contractors, and the results of the implementation of digital solutions and audits are analyzed. Measures to improve the OHSMS are proposed, including personnel training and the integration of modern technologies.

*Keywords:* OHSMS, labor protection, construction, contractors, residential complex Wave, safety audit.

### **Введение**

Строительная отрасль остается одной из самых травмоопасных в России: на ее долю приходится 25 % всех несчастных случаев (по данным Росстата, 2025) [3]. Для ООО «Меса», выступающего

генеральным подрядчиком на проекте жилого комплекса «Wave» общей площадью 76 000 м<sup>2</sup> (1 очередь), внедрение комплексной СУОТ стало стратегической задачей. Проект характеризуется сложной архитектурной планировкой, большим количеством одновременно работающих подрядчиков (до 50 организаций в пиковые периоды) и сжатыми сроками реализации. Все это создает дополнительные вызовы для обеспечения безопасности работ. В условиях высокой сложности строительных процессов и повышенных требований к безопасности труда, внедрение эффективной Системы управления охраной труда (СУОТ) становится ключевым фактором успешной реализации проекта [2]. Цель статьи – раскрыть особенности управления охраной труда в компании, включая работу с подрядчиками и применение инновационных решений.

## **1. Организация СУОТ в ООО «Меса»**

Система базируется на:

- Нормативной базе: соблюдение требований ТК РФ, ГОСТ 12.0.230-2007, отраслевых СП [2].
- Иерархии ответственности: назначение ответственных за ОТ на каждом уровне – от руководства до бригадиров [1].
- Контроле подрядчиков: включение в договоры обязательных требований по безопасности (например, использование СИЗ, проведение инструктажей) [2].

## **2. Политика в области охраны труда**

Разработана и внедрена корпоративная политика, утвержденная генеральным директором. Основные принципы:

- Приоритет жизни и здоровья работников над результатами производственной деятельности
- Соответствие требованиям законодательства РФ в области охраны труда
- Постоянное совершенствование системы управления охраной труда
- Интеграция требований безопасности во все процессы работ

### *Организационная структура*

Сформирована трехуровневая система управления:

- Первый уровень – руководство компании (определение политики, выделение ресурсов)
- Второй уровень – отдел охраны труда (координация, контроль, методическое руководство)
- Третий уровень – линейные руководители и уполномоченные по охране труда в подразделениях

#### *Особенности управления подрядными организациями*

Управление охраной труда при работе с подрядными организациями представляет особую сложность. В ООО «Меса» разработана комплексная система отбора и контроля подрядчиков, включающая:

##### 1. Предварительный отбор подрядчиков

Все потенциальные подрядчики проходят аудит системы охраны труда, который включает:

- Проверку наличия и соответствия документации по охране труда
- Анализ статистики производственного травматизма за последние 3 года
- Оценку квалификации специалистов по охране труда
- Проверку системы обучения и инструктажа работников

##### 2. Требования к подрядчикам

В договоры включаются обязательные требования по охране труда:

- Соответствие деятельности правилам охраны труда при производстве строительных работ
- Обязательное проведение ежедневных инструктажей на рабочем месте
- Использование только сертифицированных СИЗ
- Немедленное информирование генерального подрядчика о всех инцидентах

##### 3. Система текущего контроля

Ежедневный мониторинг соблюдения требований охраны труда включает:

- Обходы объектов ответственным инженером ООО «Меса»
- Видеомониторинг ключевых зон повышенной опасности
- Еженедельные совещания по вопросам безопасности с участием всех подрядчиков [1].

#### **4. Система мотивации и санкций**

Разработана балльная система оценки подрядчиков по критериям безопасности:

- Начисление баллов за безаварийную работу
- Штрафные санкции за нарушения
- Возможность отстранения от работ при систематических нарушениях

#### *Результаты аудитов подрядных организаций*

В 2024 году проведено 48 аудитов подрядных организаций, по результатам:

- 12 организаций получили оценку «отлично»
- 28 организаций – «удовлетворительно»
- 8 организаций – «неудовлетворительно» (приняты меры по исправлению)

#### **3. Процедуры идентификации опасностей и оценки рисков**

Внедрена методика количественной оценки профессиональных рисков на основе матрицы рисков. Ежегодно проводится оценка по всем видам работ, с периодическим пересмотром при изменении условий труда.

#### **4. Процедуры планирования улучшений**

На основе результатов оценки рисков формируется план мероприятий по улучшению условий труда с указанием сроков, ответственных и необходимых ресурсов.

#### **5. Анализ рисков и аудиты**

На объекте «Wave» выявлены основные опасности:

- Падения с высоты
- Поражение электротоком
- Контроль подрядчиков включает:
- Предварительные аудиты перед допуском к работам.
- Ежеквартальные проверки с составлением рейтинга соблюдения норм ОТ.

#### **6. Результаты внедрения СУОТ**

За 2025 год достигнуто:

- Снижение травматизма на 35 %.
- 100 % охват обучением подрядных организаций.

- Внедрение системы поощрений за соблюдение норм ОТ (например, бонусы за безаварийную работу).

## 7. Система видеомониторинга

Установлены камеры в зонах повышенной опасности:

- Крановые пути и рабочие зоны крановщиков
- Участки работ на высоте
- Зоны перемещения строительной техники
- Склады временного хранения материалов

Эффективность внедрения цифровых решений

- На 40 % сократится время реагирования на нарушения
- На 35 % увеличится количество выявляемых нарушений
- На 60 % сократится время оформления документации по охране труда

## 8. Проблемы и пути решения

Несмотря на достигнутые успехи, выявлен ряд системных проблем:

1. Недостаточная квалификация работников подрядных организаций

Решение: создание единого учебного центра на базе ООО «Меса» с обязательным обучением всех работников

2. Сопротивление внедрению новых технологий

Решение: программа мотивации и поощрения за использование цифровых инструментов

3. Недостаточное финансирование мероприятий по охране труда

Решение: разработка бизнес-кейсов, демонстрирующих экономическую эффективность инвестиций в безопасность

## 9. Рекомендации по улучшению

- Развитие культуры безопасности: регулярные тренинги с разбором кейсов.
- Внедрение мобильного приложения «Безопасный объект»

Приложение позволяет:

- Фиксировать нарушения требований безопасности с привязкой к местоположению

- Оперативно сообщать о происшествиях
- Проводить проверки знаний требований охраны труда
- Вести электронные журналы инструктажей
- Разработка BIM-технологий для моделирования опасных ситуаций.
- Механизация отчетности через IoT-датчики (мониторинг состояния СИЗ).

### **Заключение**

Опыт ООО «Меса» демонстрирует, что эффективная СУОТ требует комплексного подхода: от жесткого контроля подрядчиков до внедрения инноваций. Реализованные меры позволили значительно повысить безопасность на объекте «Wave». Дальнейшее развитие системы связано с цифровизацией и профилактикой человеческого фактора.

Реализованные мероприятия позволили достичь значительного улучшения показателей безопасности: за два года уровень травматизма снизился на 62 %, экономический ущерб от несчастных случаев сократился на 80 %. Однако для поддержания достигнутых результатов и дальнейшего улучшения необходимы постоянные инвестиции в развитие системы, обучение персонала и внедрение инновационных технологий.

Перспективы развития СУОТ в ООО «Меса» связаны с дальнейшей цифровизацией, внедрением технологий искусственного интеллекта для прогнозирования рисков и созданием комплексной системы управления безопасностью на протяжении всего жизненного цикла объекта.

### **Литература**

1. Графкина М. В. Управление охраной труда в строительстве / М. В. Графкина, А. С. Лебедев. – М. : Стройиздат, 2023. – 180 с.
2. ГОСТ Р 12.0.007–2022. Системы управления охраной труда.
3. Данные Росстата о производственном травматизме за 2023 год.

**УДК 614.8**

Наталья Дмитриевна Чернякова,  
студент  
Анастасия Михайловна Масюкова,  
студент  
Ольга Владимировна Горбунова,  
доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: Tasha-4er@yandex.ru,*  
*joshdun888@gmail.com,*  
*o.v.gorbunova@inbox.ru*

*Natalya Dmitrievna Chernyakova,*  
student  
*Anastasia Mikhailovna Masiukova,*  
student  
*Olga Vladimirovna Gorbunova,*  
Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: Tasha-4er@yandex.ru,*  
*joshdun888@gmail.com,*  
*o.v.gorbunova@inbox.ru*

**КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ  
ОРГАНИЗМА РАБОТНИКОВ С ПОМОЩЬЮ  
НОСИМЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

**MONITORING OF THE BODY CONDITION  
OF EMPLOYEES USING WEARABLE  
BIOMETRIC SENSORS**

Человеческий фактор становится определяющим негативным фактором практически во всех происшествиях на производстве, который влечет за собой различные аварии и инциденты. В связи с этим, целью наших исследований является разработка носимого устройства для работников предприятий, позволяющего контролировать появление показателей состояния организма человека, создающих предпосылки к проявлению человеческого фактора. Новизна работы заключается в разработке концепции применения индивидуальных датчиков контроля состояния организма работников для различных отраслей экономики. Такой идеи как «датчик контроля состояния организма человека» еще не существует, и данная разработка будет очень полезна для сотрудников промышленных предприятий, строителей и др. Полагаем, что внедрение такого индивидуального устройства индикации состояния организма человека обладает потенциалом для спасения жизни и сохранения здоровья работников.

*Ключевые слова:* датчик контроля состояния организма человека, чрезвычайная ситуация, благополучие работников, человеческий фактор, безопасность труда.

The human factor becomes the determining negative factor in practically all industrial accidents, which entails various accidents and incidents. In this regard, the purpose of our research is to develop a wearable device for employees of enterprises that allows them to control the appearance of indicators of the state of the human body, creating prerequisites for the manifestation of the human factor. The novelty of the work lies in the development of a concept for the use of individual sensors for monitoring the state of the body of workers for various sectors of the economy. There is no such idea as a “sensor for monitoring the state of the human body” yet, and this development will be very useful for employees of industrial enterprises, builders, etc. We believe that the introduction of such an individual device for indicating the state of the human body has the potential to save lives and preserve the health of employees.

*Keywords:* sensor for monitoring the state of the human body, emergency situation, employee well-being, human factor, occupational safety.

В современном мире невозможна жизнедеятельность человека без использования электроэнергетики, теплоэнергетики, химической промышленности и других технологий и производств. На производственных предприятиях нашей страны трудится огромное количество людей, которые в свою очередь могут уставать, испытывать стресс и плохо себя чувствовать. По одной из этих причин, человек может потерять концентрацию внимания, находясь на своём рабочем месте. Вследствие этого повышается вероятность происхождения техногенной аварии из-за так называемого «человеческого фактора».

На рисунке 1 показана динамика производственного травматизма с летальным исходом, которые произошли в поднадзорных Ростехнадзору организациях. Как видно из графика в 2024 году произошло значительно меньшее количество несчастных случаев со смертельным исходом чем в 2023 году [1]. Однако основной причиной подобного рода травматизма является проявление человеческого фактора.

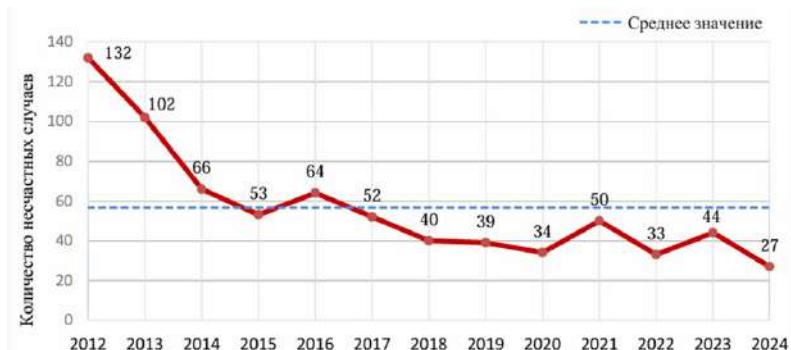


Рис. 1. Динамика травм с летальным исходом

Из приведенных выше сведений о количестве несчастных случаев со смертельным исходом на объектах электрических сетей возникло 14 инцидентов, на электроустановках потребителей – 12, на теплогенерирующих установках и тепловых сетях – 1 случай (рис. 2) [1].



Рис. 2. Несчастные случаи на объектах Ростехнадзора

### Датчик контроля состояния организма человека

На рисунках представлена модель датчика контроля состояния человеческого организма, показаны вид датчика сбоку (рис. 3), и вид датчика сверху (рис. 4).

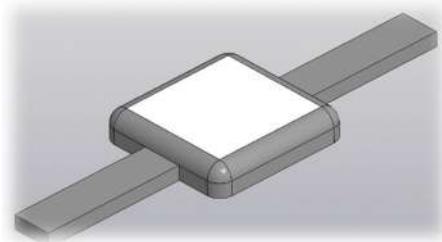


Рис. 3. Вид датчика сбоку

Изображение носимого устройства в момент времени, когда датчиком было зафиксировано отклонение от индивидуально-настроенной величины, характеризующей «нормальное» состояние организма человека, показан на рис. 4.

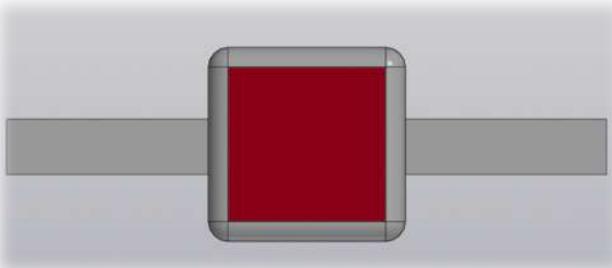


Рис. 4. Вид датчика сверху

### Принцип работы

#### 1. Пульс

Датчик измеряет пульс с помощью фотоплетизмографии [2]. Датчик излучает свет в диапазоне частот от 0,52 мкм до 0,95 мкм, спектр которого при попадании на кожу человека частично поглощается тканями тела, и часть спектра 0,52–0,55 мкм рассеивается, отражаясь от поверхностных слоёв кожи.

Датчик будет замерять объём крови проходящей за одну минуту времени. Принцип его работы основан на прохождении че-

рез кожные покровы на запястьях рук излучения определенного спектра от зеленых светодиодов. Благодаря тому, что кровь имеет красный цвет, она отражает красный спектр света, но при этом поглощает зелёный спектр. При сердцебиении происходит пульсирующее движение крови по кровеносным сосудам, при этом датчик будет поглощать в активную фазу зелёный спектр. И напротив, в период между сокращениями сердечных мышц, количество поглощенного света зеленого спектра уменьшается, что фиксируется датчиком, с помощью преобразователя. На основе этого принципа проводится измерение количества сокращений сердечных мышц – ударов в минуту [3].

При полной детекции показателей состояния организма человека датчик на основе фотоплетизмограммы будет выводить следующую информацию: пульс, вариабельность сердечного ритма, уровень кислорода в крови, максимальное потребление кислорода ( $VO_{2\max}$ ), частоту дыхания, артериальное давление.

На рисунке 5 представлена схема прохождения импульса от излучателя через кожу человека к артерии, затем сигнал поступает на считыватель информации – датчик, после чего сигнал проходя через преобразователь выводится на экран носимого устройства.

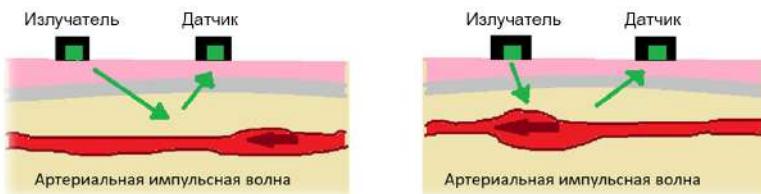


Рис. 5. Схема прохождения импульса

## 2. Голод

Недостаток глюкозы в клетках оказывает влияние и вызывает возбуждение в пищевом центре, в результате появляется чувство голода [2]. В межклеточной жидкости содержится глюкоза, которая поступает в нее из крови. Именно в этой жидкости датчик и определяет концентрацию глюкозы. Датчик излучает специальные лазеры

на кожу, свет которых с определенной длинной волны в местах, где интерстициальная жидкость (связующее звено между внутриклеточным и внутрисосудистым сектором) вытекает из капилляров, поглощается глюкозой и обрабатывается самим датчиком, в котором алгоритм определяют уровень сахара в крови

### 3. Температура

Датчики для измерения температуры тела работают на основе инфракрасного излучения. датчик улавливает диапазон инфракрасного излучения от 5 мкм до 20 мкм исходящего от тела человека, после чего преобразует полученный сигнал в электрический [5]. Затем электрический сигнал подаётся на детектор, с помощью которого определяется температура тела [5]. Чем выше температура тела, тем соответственно интенсивнее будет инфракрасное излучение. В данном случае прибор распознаёт несоответствие запрограммированным показателям, после чего показывает цифры больше или же меньше стандартным [5]. Применяется только ближний инфракрасный диапазон, поскольку он не рассеивается на поверхности кожи и проникает на подкожные структуры [5].

### Калибровка датчика

Датчик запрограммирован на «критические параметры», при возникновении которых человек не является дееспособным, к примеру: отклонение от нормального артериального давления (в норме – 120/80 мм рт. ст.). Человек не трудоспособен при давлении 140/90 мм рт.ст. и при давлении 100/60 мм рт.ст. При фиксировании датчиком отклонения в организме (высокого или низкого), сигнал передаётся по сети Wi-fi непосредственно на компьютер инженеру по охране труда. Далее специалист по охране труда обязан принять соответствующие меры. К примеру, отвести сотрудника в пункт медицинской помощи для устранения признаков плохого самочувствия.

Так же датчик может быть запрограммирован на данные «критические параметры»: температуры (согласно МР 3.1.0276-22 это 37,2 °C и 35 °C); уровня глюкозы (2,2–2,8 ммоль/л); частоты пульса (замедление сердечного ритма до 38–42 ударов в минуту, что может являться ранними признаками сердечной смерти, или учаще-

ние частоты сердечного пульса – больше 110–120 ударов в минуту, это состояние называется синусовой тахикардией, которое если не купировать, то имеется шанс перехода в фибрилляцию желудочков, что приводит к острой остановке сердца) [6].

Каждый датчик настраивается индивидуально под каждого работника. Устройству присваивают порядковый номер и отдают под роспись работнику. Таким образом инженер по охране труда на своем компьютере, заметив сигнал от датчика, сразу может понять у какого работника произошел сбой в организме. Так же это необходимо, когда тот или иной работник выполняет какие-то особо опасные виды работ и находится, например, на высоте или же в условиях повышенных температур.

### **Область применения**

Чувствительные профессии, особо нуждающиеся в датчиках контроля состояния организма человека, являются пожарные, спасатели, промышленные альпинисты, шахтеры и другие виды профессий, где есть риск жизни и здоровью работников и зависимых от этих работников людей, как например, водителей общественного автотранспорта.

При выполнении вышеперечисленных видов работ датчик может зафиксировать повышенную температуру (например, при выполнении огневых работ), а также отклонение от нормальных и ранее запрограммированных параметров нормального состояния организма работника.

Как описывалось ранее, каждый датчик настраивается под индивидуальные параметры человека. Если же человек находится в условиях, где данные параметры могут изменится из-за выполняемого вида работ, датчик необходимо перепрограммировать. Для этого необходимо установить критические параметры состояния организма человека и привести в соответствие с теми условиями, в которых работает сотрудник.

Контроль самочувствия таких работников должен иметь приоритет у руководства организации, с целью недопущения ухудшения состояния организма работника при выполнении работ, как

следствие возможного возникновения инцидентов и аварийных ситуаций, связанных с человеческим фактором.

Необходимо принять во внимание, что ущерб от возможной аварии будет многократно превышать экономические затраты на внедрение браслетов контроля состояния здоровья.

### **Заключение**

В работе было приведено теоретическое обоснование разработки по решению проблемы предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с «человеческим фактором» на производстве.

В мире инновационных технологий нельзя не использовать возможность для создания улучшенных условий работы персонала. Это позволит избежать возникновение аварий и сохранить немало жизней.

В результате работы достигнуто следующее:

1. разработана принципиальная модель датчика позволяющего оценить состояние организма человека;
2. был сформулирован принцип работы датчика;
3. проведен анализ преимуществ и недостатков прибора;
4. сформулированы необходимые требования успешной работы датчика.

### **Литература**

1. СПС ГАРАНТ: Нормативно-правовая документация: сайт. – URL: <https://ivo.garant.ru/#/startpage:0/> (дата обращения: 07.04.2025).
2. Публикации eLIBRARY: Исследование влияния температуры окружающей среды на показания пульсоксиметра: сайт. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50050782/> (дата обращения: 10.04.2025).
3. Пульс. Каким он должен быть у здорового человека?: сайт. – URL.: <https://expert-clinica.ru/blog/puls-kakim-on-dolzen-byt-u-zdorovogo-cheloveka/> (дата обращения: 13.04.2025).
4. Интернет ПЛЮС: Повышенное чувство голода: сайт. – URL.: <https://www.invitro.ru/library/simptomy/24077/> (дата обращения: 14.04.2025).
5. Интернет ПЛЮС: Как работают бесконтактные термометры: сайт. – URL.: <https://www.techinsider.ru/editorial/791303-kak-rabotayut-beskontaktnye-termometry/> (дата обращения: 16.04.2025).
6. СМИ России и СНГ: Чем опасен замедленный и учащенный пульс: сайт. – URL.: <https://ren.tv/news/zdorove/945574-vrach-nazval-opasnyi-dlia-zhizni-puls-i-obiasnil-chto-s-etim-delat/> (дата обращения: 19.04.2025).

**УДК 666.1.002.34/35**

Мария Александровна Синякова,  
канд. хим. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный морской  
технический университет)  
Галина Георгиевна Черник,  
канд. хим. наук  
(ООО «Актив-нано»)  
*E-mail: kafischem@yandex.ru,*  
*galgeorg@yandex.ru*

Maria Aleksandrovna Sinyakova,  
PhD in Sci. Chem., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State Marine  
Technical University)  
Galina Georgievna Chernik,  
PhD in Sci. Chem.  
(Active-nano LLC)  
*E-mail: kafischem@yandex.ru,*  
*galgeorg@yandex.ru*

## **ИОНИТ «ФЛОРЕНТИТ» И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТЕКЛА**

### **IONITE “FLORENTITE” AND ITS APPLICATION FOR GLASS HARDENING**

Стекло – один из важнейших строительных материалов. Прочность стекла имеет большое значение при его применении в различных сферах. Для улучшения качества стекла может применяться химическая закалка (ионообменное упрочнение в расплавах солей). Эффективность этого процесса можно повысить, используя регенерирующие добавки, в том числе ионит «Флорентит». Использование ионита позволяет очистить расплав селитры от примесей и пропизвести частичную регенерацию расплава, что повышает эффективность упрочнения и улучшает качество готового стекла. В статье описаны свойства ионита и основные принципы его использования.

*Ключевые слова:* химическая закалка, упрочнение стекла, ионный обмен, неорганические иониты.

Glass is one of the most important construction materials. The strength of glass plays an important role in various fields. Ion exchange hardening in molten salts can be used to improve the quality of glass. The effectiveness of this process can be improved by using additives, including ionite Florentite. The use of ionite makes it possible to extract impurities from the melt and partially regenerate the melt, which in turn increases the hardening efficiency and improves the quality of the finished glass. The article describes the properties of the ion exchanger and the basic principles of its use.

*Keywords:* chemical tempering, glass hardening, ion exchange, inorganic ionites.

«Женщина и стекло всегда в опасности».

*Испанская поговорка*

Стекло как строительный материал имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам стекла относятся: прозрачность, химическая стойкость к воздействию большинства кислых и нейтральных сред, водонепроницаемость, устойчивость к истиранию, низкая электропроводность (стекло относят к изоляционным материалам), эстетическая привлекательность, возможность вторичной переработки. К недостаткам относятся: высокая стоимость, низкая ударопрочность, способность разрушаться под действием щелочных сред, достаточно высокая теплопроводность [1]. При разрушении стекла образуется множество острых осколков, легко могущих травмировать человеческую плоть; они могут причинить глубокие порезы, проникающие ранения, повреждения связок и мышц и даже смертельные травмы [2].

Свойства стекла могут быть улучшены с помощью различных технологических приемов. Одним из этих приемов является химическая закалка стекла, называемая также ионообменным упрочнением [3-5].

Стекло помещают в ванну, наполненную расплавом соли, чаще всего калиевой селитры ( $KNO_3$ ), при нагревании. Запускается механизм ионного обмена, благодаря которому ионы натрия из поверхностных слоев стекла выходят в расплав, а их место в стекле занимают ионы калия. Радиус ионов калия больше, чем у ионов натрия, что приводит к деформации кристаллической решетки и формированию «сэндвича» из двух упрочненных слоев стекла и внутреннего, не упрочненного слоя (рис. 1). Химическую закалку можно проводить для стекол любой толщины, любой конфигурации, на отдельных участках поверхности или на всей поверхности стекла. В настящее время ионообменное упрочнение применяется для защитных стекол мобильных телефонов и планшетов, для лобовых стекол автомобилей и самолетов, в производстве оконного стекла. Сегодня процесс ионообменного упрочнения используется в производстве сверхтонких стекол для гаджетов «Corning Gorilla Glass», «Asahi Glass Dragontrail», оптических и люминесцентных волноводов [3].

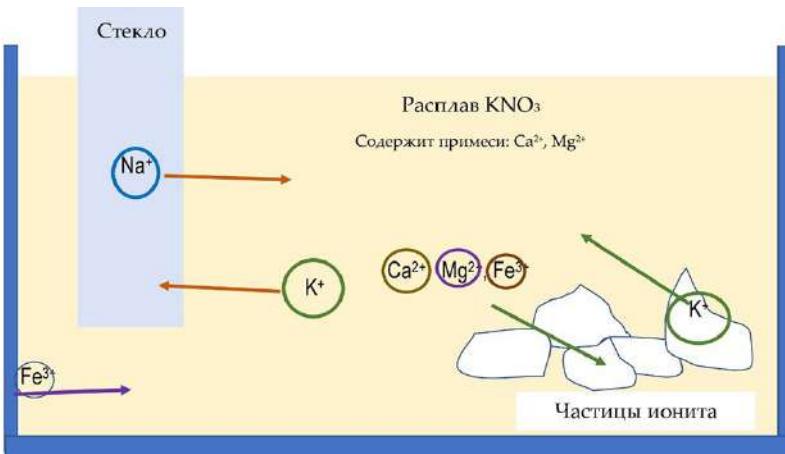


Рис. 1. Схема химической закалки стекла  
в присутствии регенерирующей добавки ионита

Однако при применении технической селитры примеси ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , присутствующие в солевом расплаве, а также продукты коррозии оборудования ванн упрочнения могут оказывать негативное влияние на процесс ионного обмена, снижая эффект упрочнения. В лабораторных условиях для солевой ванны используют химически чистые реагенты, но в промышленных установках могут применяться технические соли различных марок и различной чистоты. В этих условиях для удаления примесных ионов, а также ионов  $\text{Na}^+$ , выделившихся из стекла, можно использовать добавки ионообменных материалов.

В АО «НИТС» были исследованы различные варианты добавок в расплавы калиевой селитры и были выделены две, по мнению авторов работы [5], лучшие: гексагидроксурьмянокислый калий и кремнефосфорносурьмяный катионит.

Существует целый ряд неорганических ионитов, которые могут рассматриваться как смешанные оксигидраты сурьмы, кремния и фосфора. Предполагается, что трехмерный каркас этих ионообменников состоит из отрицательно заряженных ячеек  $[\text{SbO}_{6/2}]^-$ ,

[ $\text{SiO}_{6/2}$ ]<sup>2-</sup>, а также нейтральных ячеек [ $\text{POO}_{3/2}$ ]<sup>0</sup> и [ $\text{POO}_{1/2}(\text{OH})_2$ ]<sup>0</sup>. Отрицательный заряд каркаса должен быть скомпенсирован положительно заряженными противоионами. В зависимости от соотношения сурьмы, кремния и фосфора в составе ионообменника возможны различные варианты ионообменной емкости и селективности этих ионообменников. Синтез различных вариантов кремнефосфорносурьмяных ионообменников был проведен в 80-х годах на химическом факультете ЛГУ (ныне СПбГУ) профессором Ф. А. Белинской и Н. С. Григоровой [6]. Наиболее удачным был признан вариант кремнефосфорносурьмяного катионита, распространяемый сегодня под товарным названием «Флорентит»; именно он используется как добавка в ваннах упрочнения стекла [7].

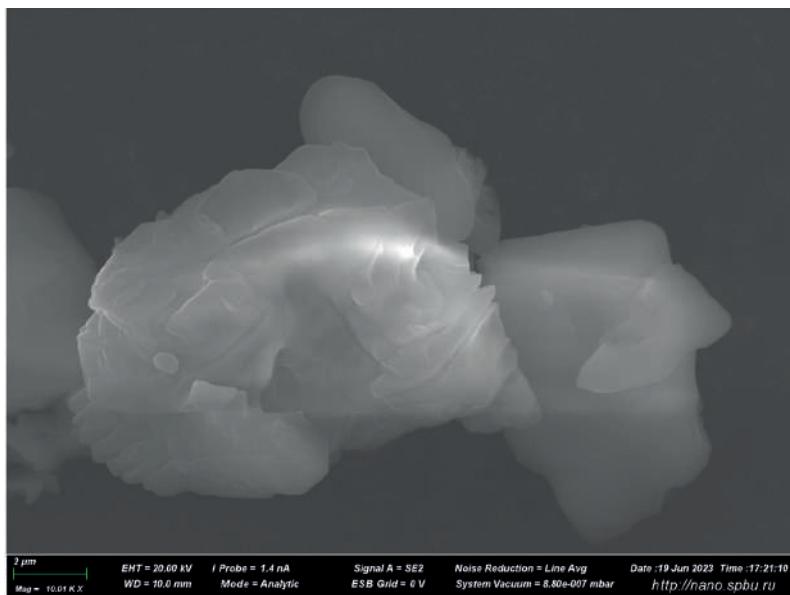


Рис. 2. Микрофотография частиц ионита «Флорентит». Сканирующая электронная микроскопия, увеличение 10 010х. Бар 2 мкм

Кремнефосфорносурьмяный ионит представляет собой совокупность гранул неправильной формы белого цвета; некоторые

физико-химические свойства ионита «Флорентит» представлены в таблице. На рис. 2 показана микрофотография частицы ионита. В ваннах, содержащих расплав калиевой селитры, используется калиевая форма ионита. Ионит не растворяется в расплаве, он остается в твердофазном состоянии и сорбирует примеси.

### **Физико-химические характеристики кремнефосфорносурьмянного ионита «Флорентит»**

Характеристика	Требования
Влажность, %	<10
Обменная ёмкость по ионам, мэкв*г-1, не менее	
Ba <sub>2+</sub>	1,7 + 0,3
Sr <sub>2+</sub>	1,5 + 0,5
La <sub>3+</sub>	1,5 + 0,4

Ионообменная емкость образцов может быть выше минимально требуемой, что улучшает их свойства и возможности использования в ваннах упрочнения стекла. Для величин ионообменной емкости характерна стабильность во времени.

При ионообменном упрочнении в ванне с расплавом калиевой селитры, в которую введены частицы ионита, происходят два со-пряженных ионообменных процесса: ионы Na<sup>+</sup> из стекла переходят в расплав, противоположным образом, из расплава в стекло, двигаются ионы K<sup>+</sup>; примесные ионы: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Na<sup>+</sup> и другие переходят из расплава в твердую фазу ионита, а ионы K<sup>+</sup> выходят из твердой фазы ионита в расплав (рис. 1). Таким образом осуществляется частичная регенерация расплава и уменьшается негативное влияние примесей селитры на результаты ионообменного упрочнения стекла.

Влияние ионитов на процесс упрочнения стекла исследовалось в АО «НИТС» [5], а также в Университете ИТМО [8]. Положительное влияние ионитов на характеристики стекла оценивалось по величине

напряжений сжатия и наличию или отсутствию сколов. В обоих случаях исследователи пришли к выводу, что введение катионита «Флорентит» в калиевой форме в расплав технического нитрата калия в процессе химической закалки приводит к улучшению условий ионного обмена и упрочнению стекла. Это особенно рекомендовано в тех случаях, когда используется более дешевая техническая калиевая селитра.

Закалка стекла, в свою очередь, приводит к улучшению его эксплуатационных качеств и снижении травмоопасности это красивого и ценного материала.

*Авторы выражают благодарность РЦ СПбГУ «Нанотехнологии».*

### **Литература**

1. <Https://glassvita.ru/poleznye-materialy/nashi-statji/i-eto-vse-o-nem-steklo-kak-rezulstat-progressa/> (дата обращения: 19.02.2025).
2. <Https://161.ru/text/health/2023/07/25/72527654/> (дата обращения: 20.02.2025).
3. Никоноров Н. В., Стибнев С. Е., Сидоров А. И., Евстропьев С. К. Ионный обмен в щелочесодержащих стеклах: технологии, механизмы, применения. Часть 1. Серебряные, медные и таллиевые катионы. Учебное пособие. – СПб. : Университет ИТМО, 2020. – 103 с.
4. Бутаев А. М. Прочность стекла. Ионообменное упрочнение. – Махачкала, 1997. – 235 с.
5. Микуло Р. В., Солинов В. Ф., Синякова М. А., Карманова Л. А., Емельянов Г. А., Черник Г. Г. Кремнефосфорносурьмянные иониты и их использование в ваннах упрочнения стекла // Стекло и керамика. 2016. № 8. С. 10–14.
6. Григорова Н. С., Никольский Б. П., Белинская Ф. А., Кожина И. И. О структуре и стабильности кремнефосфорносурьмянных катионитов // Вестник ЛГУ. Сер. 4. Физика и химия. 1981. Вып. 10. С. 79–86.
7. <Https://active-nano.net/> (дата обращения: 24.02.2025).
8. Алхалаби Х., Марасанов Д. В., Никоноров Н. В., Синякова М. А., Черник Г. Г. Влияние добавки кремнефосфорносурьмянного катионита в расплав калиевой селитры на упрочнение натриево-кальциево-магниевосиликатного стекла методом ионного обмена // Стекло и керамика. 2025. Т. 98, № 2. С. 47–54. DOI: 10.14489/glc.2025.02. Рп. 47–54.

**УДК 331.45**

Анастасия Константиновна  
Соловьева, студент  
Виталий Владимирович Кудинов,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
политехнический  
университет Петра Великого)  
*E-mail: flomstich2004@gmail.com*

Anastasia Konstantinovna  
Solovieva, student  
Vitaly Vladimirovich Kudinov,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great  
St. Petersburg  
Polytechnic University)  
*E-mail: flomstich2004@gmail.com*

## **ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

### **THE MAIN CAUSES OF ACCIDENTS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

Несчастные случаи на строительных площадках представляют серьёзную проблему обеспечения безопасности труда в России. Цель статьи – выявить и систематизировать основные причины несчастных случаев в строительной отрасли, а также проанализировать влияние человеческого фактора, организационно-технических условий и соблюдения норм охраны труда на уровень производственного травматизма. В работе использованы комплексные методы: анализ статистических данных Федеральной службы государственной статистики, сравнительный анализ отчетов надзорных органов и обобщение результатов научных исследований. Анализ показал, что строительная отрасль стабильно входит в тройку лидеров по уровню производственного травматизма в стране. Основными видами происшествий являются падения с высоты, обрушения конструкций, поражения электрическим током и травмы при эксплуатации строительной техники. Результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к управлению охраной труда и усиления контроля за соблюдением норм безопасности на стройках.

*Ключевые слова:* безопасность труда, строительная отрасль, несчастные случаи, причины травматизма, охрана труда, статистический анализ.

Accidents at construction sites represent a serious problem for occupational safety in Russia. The aim of this article is to identify and systematize the main causes of accidents in the construction industry and to analyze the influence of human factors, organizational and technical conditions, and compliance with occupational safety regulations on the level of occupational injuries. The study uses comprehensive methods: analysis of statistical data from the Federal State Statistics

Service, comparative analysis of supervisory reports, and a synthesis of scientific research findings. The analysis revealed that the construction industry consistently ranks among the top three sectors in terms of occupational injuries in the country. The main types of incidents include falls from heights, collapses of structures, electric shock injuries, and injuries related to the operation of construction equipment. The study's findings highlight the need for a comprehensive approach to occupational safety management and the strengthening of oversight of safety standards compliance at construction sites.

*Keywords:* occupational safety, construction industry, accidents, causes of injuries, labor protection, statistical analysis.

Несчастные случаи на строительных площадках представляют собой одну из наиболее острых проблем обеспечения безопасности труда. Согласно данным Росстата, строительная отрасль стабильно входит в тройку лидеров по уровню производственного травматизма в Российской Федерации [1]. Повышенная аварийность и травматизм на стройках негативно сказываются на социально-экономической стабильности и требуют научного осмыслиения и практических решений.

**Цель работы** – выявить и систематизировать основные причины несчастных случаев на строительных площадках, а также проанализировать влияние человеческого фактора, организационно-технических условий и соблюдения норм охраны труда на уровень производственного травматизма в строительной отрасли.

В данной работе использованы комплексные методы исследования, включающие анализ статистических данных Федеральной службы государственной статистики [1], сравнительный анализ отчетов надзорных органов, а также обобщение результатов научных публикаций и практических исследований в области охраны труда.

Анализ статистических данных, предоставленных Федеральной службой государственной статистики [1], а также отчетов Федеральной службы по труду и занятости и других надзорных органов, показал, что в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к высокому уровню травматизма в строительной отрасли. Основные виды происшествий включают падения с высоты, обрушения строительных конструкций, поражения электрическим током, а также травмы, связанные с эксплуатацией строительной техники.

На основании проведенного анализа и систематизации причин несчастных случаев были выделены три группы факторов:

**1. Человеческий фактор** – по экспертным оценкам, он является ключевым в более чем 60 % несчастных случаев [2]. Наиболее частыми проявлениями являются несоблюдение инструкций по технике безопасности, пренебрежение средствами индивидуальной защиты, усталость и низкая квалификация рабочих. Кроме того, отсутствие мотивации соблюдать нормы охраны труда часто обусловлено слабым контролем со стороны работодателя.

**2. Организационно-технические причины** включают в себя недостатки в планировании строительных процессов, нарушение технологий производства работ, отсутствие должного инструктажа, а также низкое качество технического состояния оборудования и строительных конструкций [3]. Особо критичны ситуации, когда работы ведутся без предварительной оценки рисков и без применения современных методов управления безопасностью.

**3. Нарушения требований охраны труда и трудового законодательства.** По данным прокуратуры и Роструда, на многих строительных объектах выявляются систематические нарушения требований охраны труда: отсутствие необходимой документации, несоблюдение режима труда и отдыха, недостаточное обеспечение работников средствами защиты [4].

Сравнительный анализ различных категорий предприятий показал, что наибольшее количество несчастных случаев фиксируется на малых и средних строительных фирмах, где контроль за соблюдением нормативных требований ослаблен, а затраты на охрану труда минимальны. В отличие от этого, крупные организации, применяющие системы менеджмента безопасности труда, демонстрируют более низкий уровень травматизма [5].

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что высокий уровень производственного травматизма в строительной отрасли является следствием комплексного воздействия человеческого, организационно-технического и нормативного факторов. Для эффективного снижения числа несчастных случаев необходима реализация системного подхода, включающего повышение квалификации

персонала, внедрение современных технологий безопасности, а также усиление государственного и внутреннего контроля за соблюдением требований охраны труда.

Проведённое исследование подтвердило, что высокий уровень несчастных случаев в строительной отрасли обусловлен совокупным влиянием человеческого фактора, организационно-технических недочётов и нарушений нормативных требований охраны труда. Ключевыми причинами травматизма являются низкий уровень квалификации и дисциплины работников, отсутствие эффективного контроля со стороны работодателей, а также недостаточная организация производственных процессов и обеспечение средствами защиты. Наибольшую уязвимость демонстрируют малые и средние строительные предприятия, где меры безопасности реализуются формально или игнорируются. Для снижения уровня травматизма необходимо внедрение системного подхода к управлению охраной труда, включающего регулярное обучение персонала, модернизацию техники и оборудования, а также жёсткий контроль за соблюдением требований безопасности как со стороны государства, так и со стороны самих организаций. Полученные результаты могут быть использованы для разработки профилактических мероприятий и повышения общей культуры безопасности в строительной сфере.

### **Литература**

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Статистика производственного травматизма за 2021–2023 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 19.05.2025).
2. Серов С. В. Анализ влияния человеческого фактора на уровень производственного травматизма в строительстве // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 7. – С. 42–47.
3. Михайлов А. П. Технологические причины аварий и травматизма на строительных объектах // Вестник строительной науки. – 2021. – № 3. – С. 58–65.
4. Федеральная служба по труду и занятости (Роструд). Годовые доклады о состоянии условий и охраны труда в РФ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rostrud.gov.ru/> (дата обращения: 19.05.2025).
5. Иванова Л. Н. Сравнительный анализ показателей травматизма на предприятиях разного масштаба в строительной отрасли // Охрана труда и социальное страхование. – 2023. – № 2. – С. 30–36.

## **СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ**

**УДК 624.155.1**

Адриан Эдуардович Беляков,

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: beliak0ffff@gmail.com*

*Adrian Eduardovich Beliakov,*

student

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: beliak0ffff@gmail.com*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ**

### **MODELING OF SHOCK LOADS DURING PILE DRIVING**

В статье исследуется проблема моделирования динамической ударной нагрузки при забивке свай, актуальная для проектирования свайных фундаментов. Анализ современных работ (П. В. Полунин, А. Л. Костюк, В. И. Васин) выявил ключевые недостатки: игнорирование формы приложения нагрузки, искажение распределения напряжений и ограниченность методов расчета. Дополнительная сложность – отсутствие в технических характеристиках оборудования данных об ударной нагрузке. Цель работы – разработка методики повышения точности численного моделирования. Задачи включают: сравнение методов расчета, анализ влияния формы нагрузки, верификацию по натурным испытаниям и рекомендации для моделирования в Plaxis 2D.

*Ключевые слова:* динамическая ударная нагрузка, забивка свай, численное моделирование, свайные фундаменты.

The article investigates the problem of modeling dynamic impact loads during pile driving, which is crucial for the design of pile foundations. An analysis of recent studies (P.V. Polunin, A.L. Kostyuk, V.I. Vasin) revealed key shortcomings: neglecting the load application profile, distortion of stress distribution, and limitations in calculation methods. An additional challenge is the lack of impact load data in equipment specifications. The study aims to develop a methodology for improving the accuracy of numerical modeling. Key tasks include: comparing calculation methods, analyzing the influence of load profile, field test validation, and providing recommendations for modeling in Plaxis 2D.

*Keywords:* dynamic impact load, pile driving, numerical modeling, pile foundations.

В данной работе поднята проблема, с которой сталкиваются инженеры при проектировании свайных фундаментов: моделирование динамической ударной нагрузки при забивке свай.

Анализ современных исследований (В. М. Полунин [6], Т. Н. Костюк [1], В. А. Васенин [2]) показал, что существующие работы:

- не рассматривают влияние формы приложения нагрузки на результаты моделирования;
- упрощенные подходы искажают распределение напряжений в свае и грунте;
- ограничиваются одним методом расчета, игнорируя комплексный анализ.

Так же производители сваебойного оборудования не всегда приводят в технических характеристиках значения ударной нагрузки и графики её приложения. Это создает сложности при численном моделировании, поскольку перед расчетами необходимо определить усилие и характер удара, воздействующего на оголовок сваи.

Цель – разработка методики моделирования динамической ударной нагрузки при забивке свай для повышения точности численных расчетов поведения свайных фундаментов и грунта основания.

Задачи:

- Сравнить существующие методы расчета ударной нагрузки и оценить их точность.
- Исследовать влияние формы графика нагрузки на результаты моделирования.
- Провести верификацию методов на основе натурных испытаний.
- Разработать рекомендации по выбору метода и параметров нагрузки для численного моделирования в Plaxis 2D.

Существуют различные методы определения ударной нагрузки, большинство из которых основаны на законах сохранения. Однако точность расчетов зависит от учета дополнительных параметров, таких как деформации грунта и сваи.

В данной работе предлагается рассмотреть методы определения ударной нагрузки предложенные:

- Иосифом Раша [5].

- Афанасьевым [3].
- Эрнстом Раушем [4].

Рассмотрим данные методы подробнее.

Первый метод, предложенный И. Раша, основан на «Инструкции по расчету на импульсивные нагрузки» [7] предполагает использование кратковременного импульса с учетом коэффициента восстановления при ударе, зависящего от материалов.

$$S = mV_0(1 + \nu), \quad (1)$$

где  $m$  – масса ударяющего тела,  $V_0$  – скорость ударяющего тела в начале удара,  $\nu$  – коэффициент восстановления при ударе. Когда ударяющим телом является металлический молот, по табл. 9 «Инструкции» [7]  $\nu = 0,15$ .

Второй метод, предложенный Афанасьевым, основан на эмпирической формуле А. М. Веллингтона (1886). В которой усилие зависит от осадки сваи от единичного удара. Что является недостатком данного метода, так как достоверно невозможно оценить осадку сваи до натурных испытаний.

$$Q = \frac{Wh}{6(s + C)}, \quad (2)$$

где  $a$   $Q$  – допустимая нагрузка в кг,  $W$  – вес молота в кг,  $h$  – высота падения молота в см,  $s$  – окончательное проникновение в см на удар, считается, как среднее проникновения на удар за последние 5 ударов дизель-молота или 20 ударов паровоздушного молота,  $C$  – эмпирическая константа, равна 2,5 см для дизель-молота и 0,25 см для молотов одиночного или двойного действия.

Третий метод предложил Эрнст Рауш. Суть метода заключается в переходе потенциальной энергии падающего тела (в данном случае – рабочего тела молота) в потенциальную энергию деформации пружины (в данном случае – грунта). Достоинство данного метода в том, что учитывается как характеристики молота, так и деформационные характеристики грунта под сваей.

$$P_f = v\sqrt{m_2 c}, \quad (3)$$

где  $c$  – жесткость условной пружины,  $m_2$  – масса фундамента в кг,  $v$  – скорость в момент удара.

### Сравнение методов на примере натурных испытаний

Для проверки точности методов использовались данные испытаний, проведенных Костюк Т. Н. [1] с гидромолотом МГБШ «Ропат» (энергия удара 55 кН·м, масса бойка 5400 кг). Максимальные виброускорения зафиксированные в ходе испытаний равны 9 м/с<sup>2</sup>. Именно с данной величиной предлагается сравнивать результаты численных расчетов предложенных методов.

### Результаты расчетов

Так как по Раушу и Афанасьеву удары происходят почти мгновенно, можно принять их длительность за 0,01 с. Значения импульсивных нагрузок представлены в таблице.

Метод	Найденное значение	Импульс при $t = 0,01$ с
Раша	$S = 24,9$ кНс	$S = 24,9$ кНс
Афанасьева	$F = 2227$ кН	$S = 22,3$ кНс
Рауша	$P_f = 2246$ кН	$S = 22,5$ кНс

Однако, так как Метод Раша изначально считается как импульс, а значение нагрузки наибольшее при прочих равных, наиболее консервативным значением можно принять именно его, однако требуется уточнение в виде расчетов в численной постановке.

### Учет формы графика силы $F(t)$

Для моделирования нагрузки в расчетных комплексах также необходимо определить характер приложения нагрузки.

Импульс силы определяется как интеграл силы по времени:

$$S = \int_0^t F(t) dt \quad (4)$$

Если известен общий импульс и длительность удара ( $0.01\text{c}$ ), то средняя сила удара вычисляется по формуле:

$$F_{\text{cp}} = \frac{S}{t} \quad (5)$$

Если график удара не прямоугольный (т. е. сила меняется во времени), то средняя сила  $F_{\text{cp}}$  дает лишь ориентировочное значение.

### Треугольный импульс

Если сила растет линейно до максимума  $F_{\text{max}}$  и затем спадает:

$$S = \frac{F_{\text{cp}} \cdot t}{2}, \quad (6)$$

откуда:

$$F_{\text{max}} = \frac{S \cdot 2}{t}. \quad (7)$$

### Синусоидальный импульс

Если удар описывается полуволной синуса:

$$F(t) = F_{\text{max}} \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right), \quad (8)$$

то импульс:

$$S = \int_0^t F_{\text{max}} \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right) dt = \frac{2}{\pi} F_{\text{max}} \tau, \quad (9)$$

отсюда:

$$F_{\text{max}} \tau = \frac{\pi S}{2\tau} = 1,57 \frac{S}{\tau}. \quad (10)$$

### Прямоугольный импульс

Если сила постоянна в течение удара:

$$F_{\text{max}} = F_{\text{cp}} = \frac{S}{t} \quad (11)$$

Для валидации методов проведено численное моделирование в Plaxis 2D в осесимметричной постановке. Для песков использовались модели HSS, тип дренирования – Undrained A, для глины модель мора кулона. Размеры расчетной схемы  $40 \times 12$  метров. По краям схемы заданы вязкие границы, во избежание учета отраженных волн. В идентичных схемах менялись только графики приложения и величины нагрузки. Расчетная схема приведена на рис. 1.

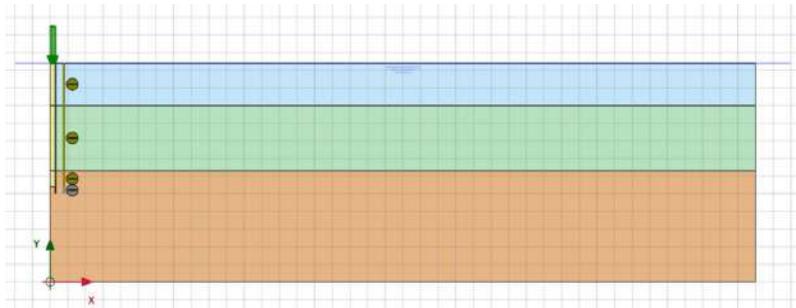


Рис. 1. Расчетная схема для сравнения типов приложения нагрузки

Рассмотрим графики вертикальных ускорений грунта, полученных при приложении прямоугольного импульса, треугольного и синусоидального (рис. 2–4).

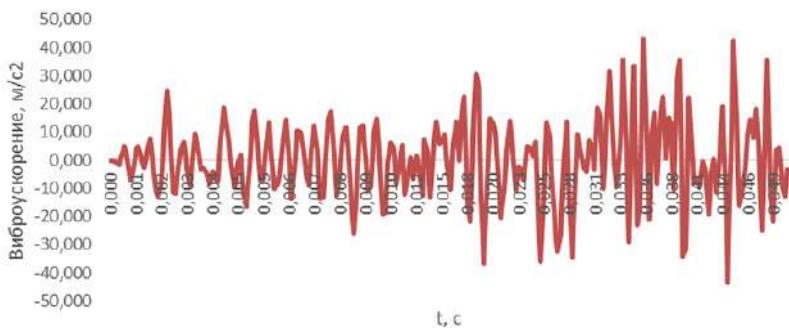


Рис. 2. График вертикальных виброускорений при использовании прямоугольного импульса

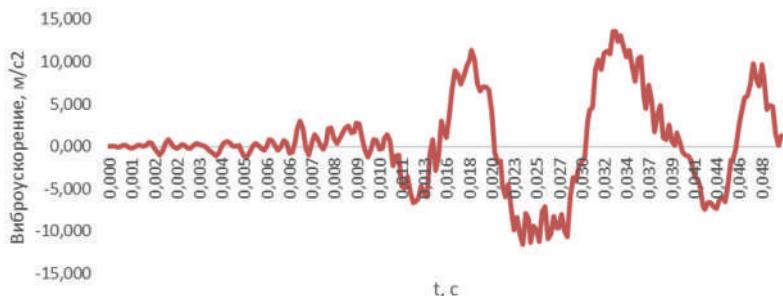


Рис. 3. График вертикальных виброускорений при использовании треугольного импульса

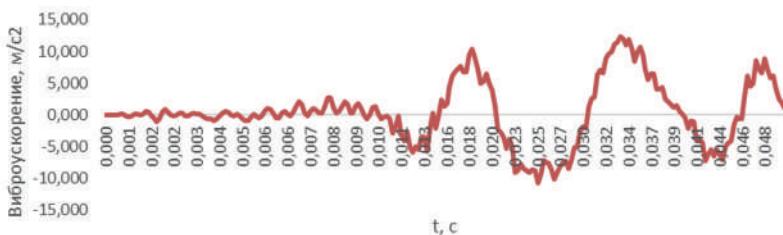


Рис. 4. График вертикальных виброускорений при использовании синусоидального импульса, посчитанного методом Рауша

Сравнение с натурными данными показало следующее: форма графика  $F(t)$  в значительной степени влияет на результаты расчета, а наиболее близким к результатам натурных испытаний оказалось значение при использовании синусоидального импульса. Метод Рауша также был проверен в численной постановке. Значения, полученные этим методом при синусоидальном импульсе, дает наиболее близкие к реальности результаты.

## Выводы

1. Сравнительный анализ методов расчета ударной нагрузки показал, что наиболее точным является метод Э. Рауша, поскольку он учитывает не только параметры молота, но и деформационные характеристики грунта.

2. Исследование влияния формы импульса нагрузки подтвердило, что синусоидальный график приложения силы обеспечивает наилучшее соответствие с данными натурных испытаний по сравнению с прямоугольным и треугольным импульсами.

3. Верификация методов на основе экспериментальных данных с использованием гидромолота продемонстрировала, что численное моделирование в Plaxis 2D дает достоверные результаты при корректном задании длительности удара ( $\sim 0,01$  с) и формы импульса.

### **Заключение**

В ходе исследования достигнута поставленная цель – разработана методика моделирования динамической ударной нагрузки при забивке свай, позволяющая повысить точность расчетов поведения свайных фундаментов и грунта основания. Полученные результаты имеют важное прикладное значение, так как позволяют повысить достоверность расчетов свайных фундаментов.

### **Литература**

1. Костюк Т. Н. Методика оценки колебаний грунта на расстоянии от погружаемой сваи: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения, 121 с.
2. Васенин В. А. Расчетная оценка параметров колебаний грунта при погружении свай. 2002.
3. Афанасьев М. И. Оценка несущей способности свай по формулам динамических нагрузок.
4. Рауш Э. Фундаменты машин. Издательство литературы по строительству. 1965.
5. Рашия И. Опыт натурных испытаний конструкций.
6. Полунин В. М. Влияние вибропогружения и виброизвлечения шпунтовых свай на дополнительные осадки фундаментов зданий в водонасыщенных грунтах.
7. Инструкция по расчету на импульсивные нагрузки. / Издательство литературы по строительству. 1966.

**УДК 624.139**

*Ирина Максимовна Болотова,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: bolotova.irisha@list.ru*

*Irina Maksimovna Bolotova,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: bolotova.irisha@list.ru*

**АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ,  
РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ЧИСЛЕННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ (РАСЧЁТ)  
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОГО ГРУНТА (ММГ)**

**ANALYSIS OF REGULATORY DOCUMENTS  
GOVERNING NUMERICAL MODELING  
(CALCULATION) OF PERMAFROST SOILS**

В статье проведен анализ нормативной документации, регулирующей проектирование оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах. Актуальность строительства на многолетнемерзлых грунтах связана с необходимостью освоения территорий. Аналитическое решение ММГ сопряжено с рядом трудностей. В связи с этим в последнее время в проектирование оснований и фундаментов активно внедряются численные расчеты, что позволяет более точно описывать состояние ММГ с учетом криогенных процессов, происходящих в грунте непрерывно. Необходимые для расчета физические и механические характеристики грунтов должны быть получены согласно ГОСТ. Для обеспечения надежности и безопасности строящихся объектов в условиях вечной мерзлоты, нормативными документами установлены требования к численных расчетам.

*Ключевые слова:* мерзлые грунты, напряженно-деформированное состояние, нормативные документы, численные методы.

The article provides an analysis of the regulatory documentation governing the design of bases and foundations on permafrost soils. The relevance of construction on perennially frozen soils is related to the necessity of land development. The analytical solution of permafrost soils is associated with a number of difficulties. Therefore, recently, numerical calculations have been actively implemented in the design of bases and foundations, allowing for a more accurate description of the state of permafrost soils, taking into account the cryogenic processes constantly occurring in the soil. The physical and mechanical characteristics of soils necessary

for calculations must be obtained in accordance with standards. To ensure the reliability and safety of construction projects in permafrost conditions, regulatory documents establish requirements for numerical calculations.

*Keywords:* permafrost soils, stress-strain state, regulatory documents, numerical methods.

Строительство на многолетнемерзлых грунтах, занимающих значительную территорию России, представляет собой актуальную проблему современности. При промерзании грунта в нем формируются ледяные включения, создавая криогенную структуру, а миграция влаги вызывает непрерывные структурно-текстурные преобразования. Многолетнемерзлые грунты подвержены явлениям промерзания, оттаивания и морозного пучения. Процессы, происходящие в мерзлых грунтах, отличаются своей сложностью и приводят к возникновению сложного напряженно-деформированного состояния (НДС) в массиве.

Аналитическое решение задач с таким НДС затруднено и имеет грубые погрешности, поскольку не в полной мере учитывает температурные распределения в основании, табулирует силы морозного пучения, а деформацию пучения предполагает лишь вертикальную. Численные методы позволяют учитывать наличие льда, криогенные процессы, а также влияние температурных режимов на свойства грунта.

Однако применение численных расчетов требует строго регламентированных подходов и соответствия нормативной базе, что делает необходимым анализ существующих нормативных документов, регулирующих проведение таких расчетов. В данной статье представлен анализ нормативных требований, которые обеспечивают надёжные инженерные решения и предотвращают аварийные ситуации.

Основным нормативным документом в области расчета мерзлых грунтов является СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04–88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Это единственный современный свод правил, регламентирующий проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов.

Проектирование многолетнемерзлых грунтов в качестве основания возможно по двум принципам:

- принцип I – ММГ используются в мерзлом состоянии;
- принцип II – ММГ используются в оттаянном или оттаивающем состоянии.

Основания и фундаменты необходимо рассчитывать по двум предельным состояниям – по несущей способности и по деформациям. Необходимо проводить расчет по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения, для предотвращения выпучивания фундамента.

Ниже сделаны выдержки из СП, в которых есть упоминание численного расчета и программных комплексов.

«Глубину оттаивания (промораживания) грунта следует определять численными методами, с учетом проектного срока эксплуатации трубопровода» [1].

«При использовании численных методов расчетная модель «основание – трубопровод» должна адекватно отражать конструктивные особенности трубопровода, характеристики многолетнемерзлых грунтов и схемы их взаимодействия» [1].

«Расчет местной и общей устойчивости системы «сооружение – основание – склон», должен производиться методами, удовлетворяющими условиям равновесия в предельном состоянии, с использованием программ, разработанных на основе общепринятых методов расчета устойчивости» [1].

«При проектировании оснований и фундаментов сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, следует выполнять теплотехнические расчеты основания и расчеты основания и фундаментов на силовые воздействия. В расчетах основания и фундаментов необходимо учитывать принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания, тепловое и механическое взаимодействие сооружения и основания» [1].

Основания и фундаменты сооружений, возводимых на территории вечномерзлых грунтов, должны проектироваться на основе результатов инженерных изысканий, выполненных в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07–87 «Инженерные изыскания для

строительства». Дополнительно для мерзлых грунтов должны быть установлены специальные геокриологические условия территории.

При расчете в модель программного комплекса вводят параметры ММГ, взятые непосредственно из материалов инженерных изысканий. Физические и механические характеристики грунтов должны соответствовать государственным стандартам, описанным ниже.

Стандарт ГОСТ 25100–2020 «Грунты. Классификация» дает определение и устанавливает классификацию мерзлых грунтов.

В приложении А данного стандарта указаны основные показатели состава и свойства грунтов. В приложении В дана классификация мерзлых грунтов по льдистости и по засоленности.

В расчете мерзлого грунта важно верно определить его характеристики, чтобы правильно оценить его несущую способность, а также спроектировать долговечное и надежное основание. Верные характеристики грунта позволяют моделировать корректное его поведение при различных условиях. Ниже указаны нормативные документы, регламентирующие методы определения характеристик ММГ.

ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» описывает методы определения влажности и плотности мерзлых грунтов. Знание этих параметров помогает оценить стабильность грунта, учесть его особенности и спрогнозировать неблагоприятные воздействия на сооружения.

Для получения зависимостей, характеризующих поведение мерзлых грунтов под действием нагрузок, при изменениях температуры и влиянии криогенных процессов необходимо иметь информацию о механические характеристики грунтов. В ГОСТ 12248–96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» описаны методы определения механических характеристик.

Мерзлые грунты подвержены явлению морозного пучения, которое приводит к увеличению грунта в объеме и вызывает его подъем. Это может привести к деформациям и разрушениям фундаментов и сооружений. Для определения степени пучинистости применяется ГОСТ 28622–2012 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости».

Однако в численных расчетах используются формулы, не фигурирующие в перечисленной нормативной документации. В программе «Termoground» процесс промерзания-оттаивания описан уравнением, выведенным Н. А. Цытовичем, Я. А Кроником и В. Ф. Киселевым.

$$C_{th(f)} \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{th(f)} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (1)$$

где  $C_{th(f)}$  – удельная теплоемкость грунтов (мерзлого и талого), Дж/кг·К;  $\rho$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура,  $t$ ;  $t$  – время, с;  $\lambda_{th(f)}$  – теплопроводность грунтов (мерзлого и талого), Вт/м·К;  $x, y, z$  – координаты, м;  $q_v$  – мощность внутренних источников тепла, Вт/м<sup>3</sup>.

В программе «Frost 3D» расчет температурных задач осуществляется на основе уравнения теплопроводности с учётом фазовых превращений и переноса тепла за счет конвекции:

$$\left( C(T) + \rho_b L \frac{\partial w_w(T)}{\partial T} \right) \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-\lambda(T) \nabla T) + C_w u \nabla T = 0 \quad (2)$$

где  $T$  – температура, °C;  $C(T)$  – зависимость объемной теплоемкости грунта от температуры, Дж/(м<sup>3</sup> °C);  $w_w(T)$  – зависимость количества незамерзшей воды в грунте от температуры, д. е.;  $\rho_b$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг;  $t$  – время, с;  $\lambda(T)$  – зависимость теплопроводности грунта от температуры, Вт/(м·°C);  $C_w$  – объемная теплоемкость воды, Дж/(м<sup>3</sup>·°C);  $u$  – вектор скорости фильтрации грунтовых вод, м/с;  $T$  – градиент температуры, °C.

### Заключение

Численные методы расчет позволяют описывать сложное напряженно-деформированное состояние, вызванное криогенными процессами, происходящими в ММГ. К таким процессам относятся фазовые превращения воды в лед, миграция воды и температурные деформации всех грунтовых компонентов. Нормативная документация, включающая в себя своды правил и национальные стандарты, должна регулировать основные положения проектирования и расчета, на которые основываются численные методы.

При проведении анализа, был сделан вывод, что расчеты численными методами основываются на научных трудах и статьях, пособиях и рекомендациях по проектированию. Это связано с тем, что в программных комплексах реализованы более сложные и углубленные расчеты, полученные для решения конкретных задач.

### **Литература**

1. СП 25.13330.2020 СНиП 2.02.04–88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
2. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация.
3. ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
4. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
5. ГОСТ 28622–2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости.
6. РСН 67-87: Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами.
7. Ковенькин Д. А. Применение программного комплекса Frost 3D Universal для проведения прогнозных теплотехнических расчетов земляного полотна / Д. А. Ковенькин, Д. Н. Насников, И. С. Чернецкая // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 3(75). – С. 80–90. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.3(75).
8. Пособие по определению физико-механических свойств промерзающих, мерзлых и оттаивающих дисперсных грунтов / Роман Л. Т., Царапов М. Н. [и др.] – М. : КДУ ; Университетская книга, 2018. – 188 с.

**УДК 67.11.29**

Ангелина Михайловна Панькова,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: angelina26best@yandex.ru

Angelina Mikhailovna Pankova,  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: angelina26best@yandex.ru

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ  
НА ГРАНУЛОМЕТРИЮ ПЕСКОВ**

**STUDY OF THE IMPACT OF PETROLEUM PRODUCT  
CONTAMINATION ON SAND GRANULOMETRY**

Выполнен обзор литературы отечественных и зарубежных авторов об изменении гранулометрического состава песчаных грунтов, загрязненных нефтепродуктами. На основе сопоставления результатов теоретического анализа с результатами лабораторных испытаний экспериментально зафиксированы качественные и количественные изменения гранулометрического состава песчаного грунта при взаимодействии с нефтепродуктом, в частности гипотезу об агрегировании и диспергировании минеральных частиц при взаимодействии с нефтепродуктом [1-7]. Данные результаты могут использоваться при дальнейшем анализе характера и степени изменения физико-механических характеристик песчаных грунтов, используемых в качестве оснований зданий и сооружений нефтяного комплекса в случае аварийного пролива нефтепродуктов.

*Ключевые слова:* песчаные грунты, гранулометрический состав, нефтепродукты, нефть, бензин, дизельное топливо, агрегирование, диспергирование.

A review of literature by domestic and foreign authors on changes in the granulometric composition of sandy soils contaminated with petroleum products has been conducted. By comparing theoretical analysis with laboratory test results, qualitative and quantitative changes in the granulometric composition of sandy soil upon interaction with petroleum products were experimentally confirmed, specifically validating the hypothesis of the aggregation and dispersion of mineral particles during this interaction [1-7]. These results can be used for the further analysis of the nature and extent of changes in the physical and mechanical characteristics of sandy soils that serve as foundations for buildings and structures in the oil industry in the event of an accidental petroleum product spill.

*Keywords:* sandy soils, granulometric composition, petroleum products, oil, gasoline, diesel fuel, aggregation, dispersion.

В результате анализа отечественных и зарубежных статей, авторы констатируют изменения свойств песчаных грунтов, загрязненных нефтепродуктами. Вещество начинает действовать на минеральные частицы песка, что в свою очередь приводит к изменению микроагрегатного состава песчаных грунтов [1–7]. Так Аль-Адили Акиль в своей работе пришел к выводу, что размер рыхлого, средней плотности и плотного песка стремится к укрупнению за счет действия нефтепродукта на частицы. Это подтверждает, что происходит процесс агрегирования [4]. Авторы [7] в своем исследовании показали, что при увеличении концентрации нефтепродукта происходит агрегирование песчаных частиц мелкой крупности и песков крупных за счет формирования структурных связей от нефтепродукта. Однако для песков средней крупности выявили увеличение расстояния между частицами, из-за действия поверхностно-активных веществ масла, которые образуют мономолекулярный слой, вызывающий диспергирование частиц. Hamid Rajabi в своем исследовании заметил, что в образцах, загрязненных дизельным маслом, можно увидеть хлопьевидную поверхность с большим количеством контактов между частицами, за счет которых происходит агрегирование [6].

В то время как Дашико Р. Э. и Ланге И. Ю. заметили, что среднезернистые пески в водонасыщенном состоянии под действием нефтепродуктов переходят в мелко-и тонкозернистые фракции, а воздушно-сухие пески, наоборот сопровождается агрегированием частиц [5]. На основании аналитического обзора литературы можно сделать следующий вывод, что загрязнение песчаного грунта нефтепродуктом приводит к изменению формы поверхности и размера песчаных частиц, т.е. к изменению структуры песчаного грунта. Изменение размера песчаных частиц может протекать как в сторону увеличения диаметров частиц – агрегирование, так и в сторону уменьшения диаметров – диспергирования. Тема изменения микроагрегатного состава песчаного грунта на сегодняшний день мало изучена, а полученные результаты авторов противоречивы. В этой связи для объективной оценки количественных изменений физико-механических свойств песков, загрязненных нефтепродуктами, необходимо

иметь сведения о качественных изменениях микроагрегатного (гранулометрического) состава грунта.

### **Методы исследования**

В рамках лабораторных испытаний проводилось изменение гранулометрического состава песчаных песков, загрязненные нефтепродуктами различной концентрации. Были взяты монофракционные пески крупной, средней и мелкой фракции. В качестве загрязняющего вещества использовались тяжелая нефть, бензин А-95 и дизельное топливо в концентрации 2, 6 и 12 % по массе песчаной навески в 100 г. Лабораторные испытания проводились ситовым методом в соответствии с ГОСТ 12536–2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава». Последовательно подготавливались навески песка заданной крупности с дальнейшим их затворением нефтепродуктом. Готовые образцы перемешивались для равномерного распределения нефтепродукта по массе. Навески песка высушивались при комнатной температуре для дальнейшего просеивания через набор сит с размерами ячейки 0,5; 0,25; 0,1 мм. Полученные навески разделялись по крупности частиц и при использовании цифрового микроскопа фиксировались изменения поверхности минеральных частиц, а также процессов агрегирования и диспергирования. Результаты лабораторных исследований изменения гранулометрического состава песчаных грунтов, загрязненных нефтепродуктами представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

## Песок монофракционный, концентрация загрязнения 2 %

№ п/п	НП	Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов после загрязнения по отношению к массе чистой фракции												
		Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция								
		До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния							
Степень изменения		Степень изменения		Степень изменения		Степень изменения								
Концентрация загрязнения 2%														
песок крупный														
1	бензин А95	100,00 г	88,56 г	0,00 г	11,44 г	—	—							
		↓ 11,44 г (13 %)		↑ 11,44 г										
2	дизельное топливо	100,00 г	94,92 г	0,00 г	5,08 г	—	—							
		↓ 5,08 г (5 %)		↑ 5,08 г										
3	тяжелая нефть	100,00 г	92,60 г	0,00 г	7,40 г	—	—							
		↓ 7,40 г (8 %)		↑ 7,40 г										

песок средней крупности						
1	бензин А95	0,00 г	9,1 г	100,00 г	79,46 г	0,00 г
		↑ 9,1 г		↓ 20,54 г (26 %)		↑ 11,44 г
2	дизельное топливо	0,00 г	9,08 г	100,00 г	79,70 г	0,00 г
		↑ 9,08 г		↓ 20,3 г (25 %)		↑ 11,22 г
3	тяжелая нефть	0,00 г	28,16 г	100,00 г	71,40 г	0,00 г
		↑ 28,16 г		↓ 20,54 г (29 %)		↑ 0,44 г

В результате взаимодействия монофракционного крупного песка и нефтепродукта с концентрацией 2 % по массе песка содержание крупной фракции **снижается на 5–13 %** в следствие подверженности процессам **диспергирования**. Наибольшее изменение массы крупной песчаной фракции наблюдается при загрязнении бензином А-95 (13 %). Содержание крупной фракции **возросло** в результате процесса агрегирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 9,1 г), дизельным топливом (от 0,00 г до 9,08 г) и нефтью (от 0,00 до 28,16 г), также **возросло** содержание мелкой фракции в результате процесса диспергирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 11,44 г) и дизельным топливом (от 0,00 г до 11,22 г).

Таблица 2

**Песок монофракционный, концентрация загрязнения 6%**

		Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов после загрязнения по отношению к массе чистой фракции							
№ п/п	НП	Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылевая фракция	
		До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения
		Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения
Концентрация загрязнения 6%									
песок крупный									
1	бензин A95	100,00 г	91,16 г <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">↓ 8,84 г (9 %)</span>	0,00 г	8,84 г	—	—	—	—
2	дизельное топливо	100,00 г	99,08 г <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">↓ 0,92 г (1 %)</span>	0,00 г	0,92 г <span style="background-color: #FFDAB9; padding: 2px;">↑ 0,92 г</span>	—	—	—	—
3	тяжелая нефть	100,00 г	100,00 г <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">0,00 г</span>	0,00 г	0,00 г <span style="background-color: #FFDAB9; padding: 2px;">0,00 г</span>	—	—	—	—
			<span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">↑ 98,32 г</span>			<span style="background-color: #FFDAB9; padding: 2px;">↓ 98,32 г (1 %)</span>			

*Окончание табл. 2*  
**Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов  
 после загрязнения по отношению к массе чистой фракции**

№ п/п	НП	Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
		До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния
Песок средней крупности									
Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения
1	бензин A95	0,00 г	9,00 г	100,00 г	79,32 г	0,00 г	11,68 г	—	—
			↑ 9,00 г		↓ 20,68 г (26 %)		↑ 11,68 г		
2	дизельное топливо	0,00 г	9,00 г	100,00 г	80,34 г	0,00 г	10,66 г	—	—
			↑ 9,00 г		↓ 19,66 г (24 %)		↑ 10,66 г		
3	тяжелая нефть	0,00 г	98,32 г	100,00 г	1,68 г	0,00 г	—	—	—

В результате взаимодействия монофракционного крупного песка и нефтепродукта с концентрацией 6% по массе песка содержание крупной фракции **снижается на 1–9%** в следствие подверженности процессам **диспергирования**. Наибольшее изменение массы крупной песчаной фракции наблюдается при загрязнении бензином А-95 (9 %). Содержание крупной фракции **возросло** в результате процесса агрегирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 9,0 г), дизельным топливом (от 0,00 г до 9,0 г) и нефтью, практически вся масса средней крупности песка перешла в крупную (от 0,00 до 98,32 г), также **возросло** содержание мелкой фракции в результате процесса диспергирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 11,68 г) и дизельным топливом (от 0,00 г до 10,68 г).

Таблица 3

**Песок монофракционный, концентрация загрязнения 12 %**

№ п/п	НП	Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов после загрязнения по отношению к массе чистой фракции						Степень изменения	Степень изменения	Концентрация загрязнения 12%			
		Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция							
		До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния	До загрязне- ния	После загрязне- ния						
песок крупный													
1	бензин A95	100,00 г	90,0 г	0,00 г	10,0 г	—	—	—	—	—	—		
			↓ 10 г (10 %)		↑ 10,0 г								
2	дизельное топливо	100,00 г	99,34 г	0,00 г	0,66 г	—	—	—	—	—	—		
			↓ 0,66 г (1 %)		↑ 0,66 г								
3	тяжелая нефть	100,00 г	100 г	0,00 г	0 г	—	—	—	—	—	—		

		Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов после загрязнения по отношению к массе чистой фракции							
		Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
		До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения	До загрязнения	После загрязнения
		Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения	Степень изменения
песок средней крупности									
1	бензин A95	0,00 г	9,42 г	100,00 г	80,58 г	0,00 г	10,00 г	—	—
		↑ 9,42 г		↓ 19,42 г (%)			↑ 10,00 г		
2	дизельное топливо	0,00 г	11,38 г	100,00 г	83,68 г	0,00 г	4,94 г	—	—
		↑ 11,38 г		↓ 16,32 г (20 %)		↑ 4,94 г			
3	тяжелая нефть	0,00 г	95,36 г	100,00 г	4,64 г	—	—	—	—
		↑ 95,36 г		↓ 95,36 г (96 %)					

В результате взаимодействия монофракционного крупного песка и нефтепродукта с концентрацией 12 % по массе песка содержание крупной фракции **снижается на 1–10 %** в следствие подверженности процессам **диспергирования**. Наибольшее изменение массы крупной песчаной фракции наблюдается при загрязнении бензином А-95 (9 %). Содержание крупной фракции **возросло** в результате процесса агрегирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 9,42 г), дизельным топливом (от 0,00 г до 11,38 г) и нефтью, практически вся масса средней крупности песка перешла в крупную (от 0,00 до 95,36 г), также **возросло** содержание мелкой фракции в результате процесса диспергирования, возникающее при взаимодействии монофракционного песка средней крупности с бензином А-95 (от 0,00 г до 10,00 г) и дизельным топливом (от 0,00 г до 4,94 г).

Результаты фотофиксации при помощи цифрового микроскопа представлены на рис. 1–6.



Рис. 1. Загрязнение крупного песка, загрязняющее вещество дизель:  
а – концентрации 2 %; б – концентрации 6 %; в – концентрации 12 %



Рис. 2. Загрязнение крупного песка, загрязняющее вещество бензин А-95:  
а – концентрации 2 %; б – концентрации 6 %; в – концентрации 12 %



a)

б)

в)

Рис. 3. Загрязнение крупного песка, загрязняющее вещество тяжелая нефть:  
а – концентрации 2 %; б – концентрации 6 %; в – концентрации 12 %.

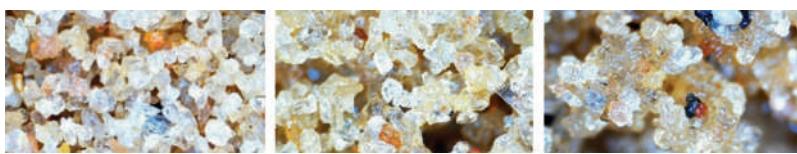


a)

б)

в)

Рис. 4. Загрязнение песка средней крупности, загрязняющее вещество дизель:  
а – концентрации 2 %; б – концентрации 6 %; в – концентрации 12 %

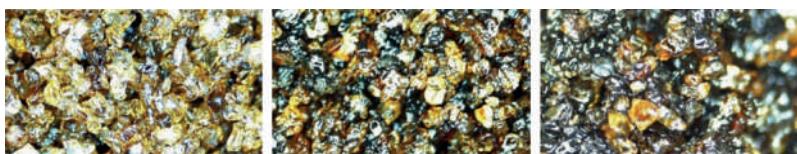


a)

б)

в)

Рис. 5. Загрязнение песка средней крупности,  
загрязняющее вещество бензин А-95: а – концентрации 2 %;  
б – концентрации 6 %; в – концентрации 12 %



a)

б)

в)

Рис. 6. Загрязнение песка средней крупности, загрязняющее вещество  
тяжелая нефть: а – концентрации 2 %; б – концентрации 6 %;  
в – концентрации 12 %

## **Заключение**

1. Частицы песчаного грунта, загрязненного нефтепродуктами, могут агрегировать и диспергировать в зависимости от вида загрязняющего вещества и его концентрации.

2. Взаимодействие песка крупной фракции с нефтепродуктами вне зависимости от загрязняющего вещества с концентрацией 2, 6, 12 % приводит к **диспергированию**. Наибольшее диспергирование наблюдается у крупного песка при загрязнении его бензином А-95 и составило 13 % от массы навески. Переход песка крупной фракции в среднюю при действии тяжелой нефти и дизельного топлива составил 7 и 5 % соответственно при концентрации загрязнения 2 %; при действии дизельного топлива с концентрацией загрязнения 6 % произошло диспергирование в 9 % от массы навески; при действии дизельного топлива при концентрации загрязнения 12 % произошло диспергирование в 1 % от массы навески;

3. В песках средней крупности при взаимодействии с бензином, дизельным топливом и нефтью с концентрацией 2, 6, 12 % приводит к **агрегированию** частиц. Практически вся масса фракции средней крупности песка переходит в крупную при загрязнении его нефтью с концентрацией 6 и 12 %, а также **возросло** содержание мелкой фракции в результате процесса диспергирования, возникающее при взаимодействии с бензином и дизелем при концентрации 2, 6, 12 %. Наибольшее агрегирование происходит у песка средней крупности при загрязнении его бензином А-95 и тяжелой нефтью в 26 и 29 % по массе навески при концентрации загрязнения 2 %. Наибольший переход фракции из средней в мелкую наблюдается у песка, загрязненного бензином А-95 при концентрации загрязнения 6 % и составила 12 %.

### Литература

1. Квашук А. В. Исследование изменения гранулометрического состава монофракционного песчаного грунта при взаимодействии с нефтепродуктами // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 3(104) С. 51–58. DOI 10/23968/1999-5571-2024-21-3-51-58.
2. Квашук А. В. Влияние загрязнения песчаного грунта нефтепродуктами на его физические свойства // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 1(96) С. 57–66. DOI 10/23968/1999-5571-2023-20-1-57-66.
3. Rajab M. Abousnina, Allan Manalo, Weena Lokuge, Jim Shiao. Oil contaminated sand: An emerging and sustainable construction material // International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering, 2015. Vol. 118. Pp. 1119–1126.
4. Аль-Адил Акиль, Йали Кавтар, Шакир Али. Исследование влияния загрязнения нефтью песчаного и гипсосодержащего грунтов на прочность // ОФМГ. 2017. № 4. С. 30–35.
5. Дацко Р. Э., Ланге И. Ю. Инженерно-геологические аспекты негативных последствий контаминации дисперсных грунтов нефтепродуктами // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 624–630. DOI 10/25515/PML 2017/6/624.
6. Hamid Rajabi, Mohammad Sharifipour. Geotechnical properties of hydrocarbon-contaminated soils:a comprehensive review // Bulletin of Engineering Geology and the Environment/2019. Vol.78. Pp. 3685-3717. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1343-1>
7. Осовецкий Б. М., Растворов А. В., Ибламинов Р. Г., Каченов В. И., Ядзинская М. Р. Изучение влияния масла моторного как поровой жидкости на прочностные свойства песков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 637.

**УДК 624.138.24**

*Павел Романович Шумелянко,*

студент

*Филипп Николаевич Калач,*

ассистент

*Анатолий Иванович Осокин,*

канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский

государственный архитектурно-

строительный университет)

*E-mail: pavelshum2001@yandex.ru,*

*Fkalach.gasu@yandex.ru,*

*geostroy-osokin@mail.ru*

*Pavel Romanovich Shumelyanko,*

student

*Filipp Nikolaevich Kalach,*

assistant lecturer

*Anatoly Ivanovich Osokin,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg

State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: pavelshum2001@yandex.ru,*

*Fkalach.gasu@yandex.ru,*

*geostroy-osokin@mail.ru*

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВ ИНЬЕКЦИЯМИ ГЕЛЯ НА ОСНОВЕ КОЛЛОИДНОГО КРЕМНЕЗЕМА**

### **STABILIZATION OF SOILS BY INJECTIONS OF COLLOIDAL SILICA-BASED GEL**

В настоящей статье приведены результаты работы, в ходе которой были определены граничные условия применения современного инъекционного материала, используемого на сегодняшний день при строительстве подземных хранилищ на территории Японии и в странах Северной Европы для снижения их водопроницаемости. Также отражена оценка кинетики изменения механических характеристик мелкого монофракционного водонасыщенного песка после инъекции рассматриваемого материала. Дополнительно в рамках исследования геля на основе коллоидного кремнезема была проведена оценка его долговечности, которая показала необходимость учета сезонного изменения уровня грунтовых вод из-за чувствительности материала к воздушной среде.

*Ключевые слова:* золь кремниевой кислоты, тиксотропные грунты, стабилизация грунтов, инъекционный материал, гель на основе коллоидного кремнезема.

This article presents the results of a study aimed at determining the boundary conditions for the application of a modern injection material currently used in the construction of underground storage facilities in Japan and Northern European countries to reduce their permeability. The study also includes an assessment of the kinetics of changes in the mechanical properties of fine monodisperse water-saturated sand following injection with the material under consideration. Additionally, the research examined the long-term durability of a colloidal silica-based gel, reveal-

ing the necessity of accounting for seasonal fluctuations in groundwater levels due to the material's sensitivity to atmospheric exposure.

**Keywords:** silica sol, thixotropic soils, soil stabilization, injection material, colloidal silica gel.

На сегодняшний день ключевой проблемой в ходе применения геля на основе коллоидного кремнезема выступает его повышенная чувствительность к внешней среде. Основными факторами, требующими учета при проведении инъекционных работ, выступают водородный показатель и степень минерализации тех сред, с которыми будет осуществлен контакт инъекционного материала.

Рассматривая водородный показатель среды, необходимо учитывать стабильность коллоидного кремнезема при различных его значениях. Как отмечается в работе [1] в диапазоне от 5 до 8 pH фиксируется максимальная скорость образования гелевой структуры (рис. 1).

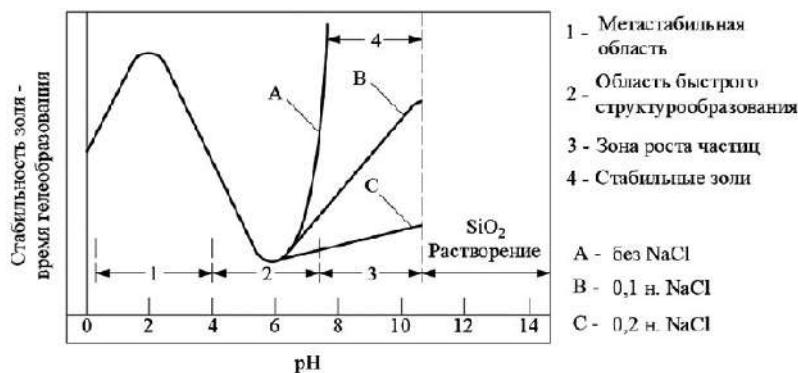


Рис. 1. Зависимость стабильности золя от водородного показателя среды [2]

Степень минерализации грунтовых вод также требует учета при проведении инъекционных работ, так как она существенно ускоряет процесс гелеобразования. Большая концентрация солей, которые выступают активаторами для коллоидного кремнезема, может привести к ускоренному переходу золя в гель, до достижения требуемой области инъекции.

В рамках исследования также были получены результаты, которые свидетельствуют о возможной перспективе дальнейшего применения геля на основе коллоидного кремнезема для стабилизации слабых водонасыщенных грунтов г. Санкт-Петербурга. Для этого были проведены испытания 36 опытных образцов (рис. 2, 3) через 10, 30, 60, 90 дней после инъекции кремнезоля производства АО «НПО Полицелл» марки «Полигель ACM-КЗ» (ТУ 2458-038-97457491-2010 с изм. 1,2) в мелкий монофракционный водонасыщенный песок.



Рис. 2. Опытный образец до испытания в приборе трехосного сжатия



Рис. 3. Опытный образец после испытания  
в приборе трехосного сжатия

В ходе проведения испытаний в приборе трехосного сжатия при всесторонних напряжениях 100, 200, 300 кПа у всех образцов было зафиксировано хрупкое разрушение. Результаты изменения механических характеристик грунта, полученные по окончании исследования, отражены на рис. 4–6.

Для оценки долговечности инъекционного материала были изготовлены 24 образца в заранее подготовленных пластиковых формах, которые после формирования гелевой структуры помещались в водную и воздушную среды (рис. 7–9). В ходе наблюдений у образцов, хранившихся в воздушной среде, были зафиксированы изменения линейных размеров, а также образования структурных дефектов. Однако подобного поведения геля при полном контакте с водой обнаружено не было.

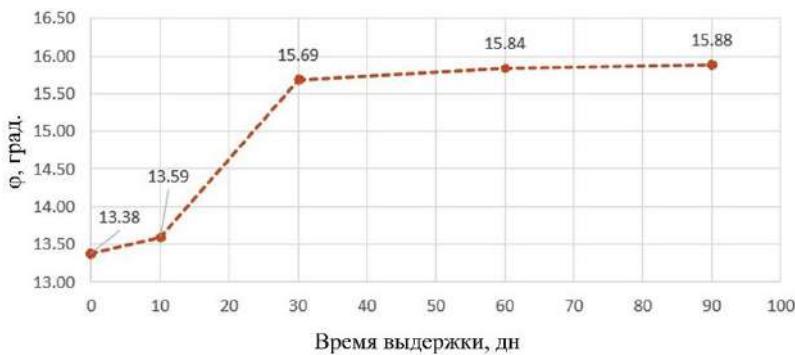


Рис. 4. Зависимость угла внутреннего трения от времени выдержки

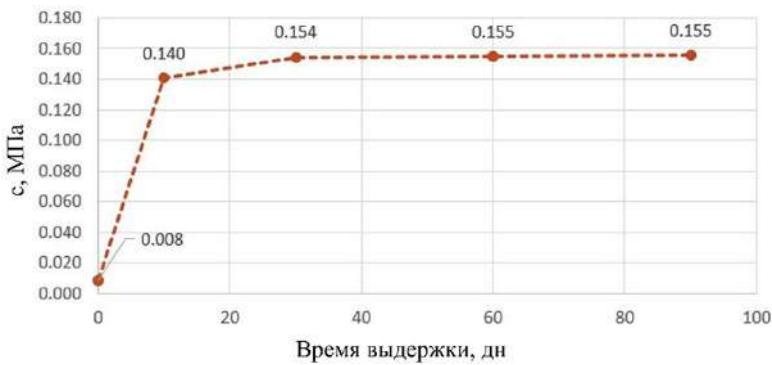


Рис. 5. Зависимость удельного сцепления от времени выдержки

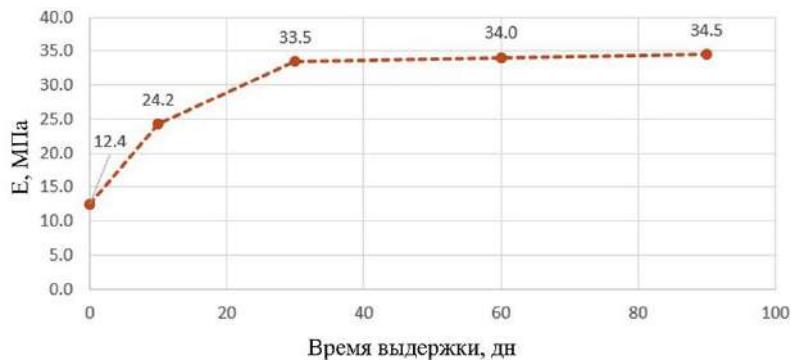


Рис. 6. Зависимость модуля деформации от времени выдержки

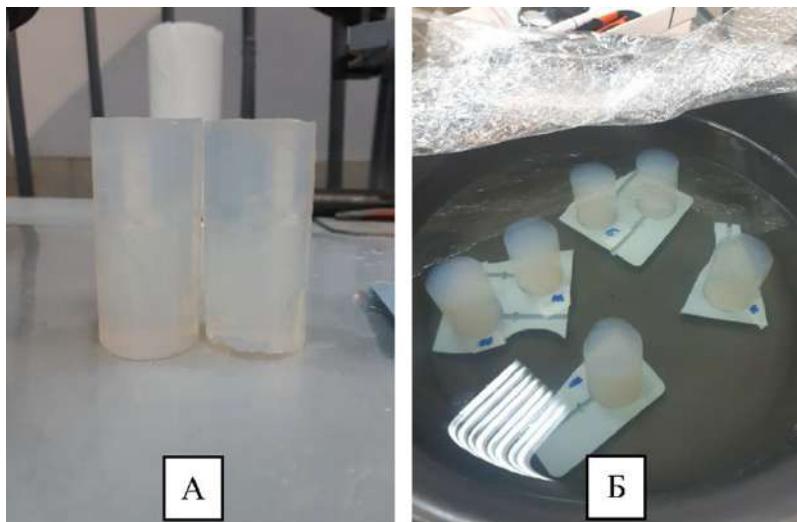


Рис. 7. А – образцы после формирования гелевой структуры;  
Б – образцы в водной среде

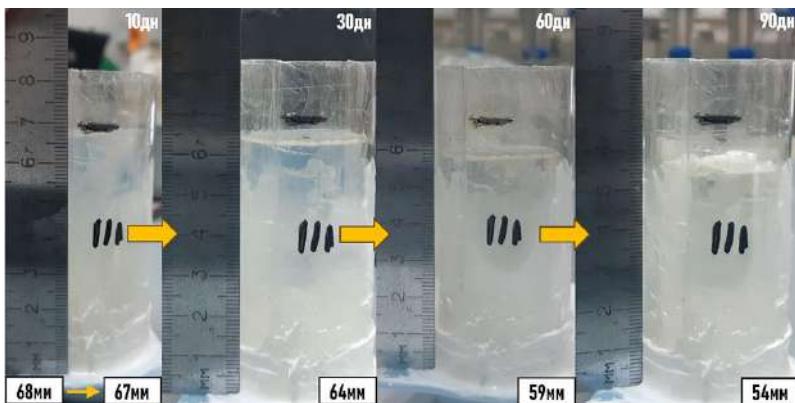


Рис. 8. Изменение высоты образца в воздушной среде при +4 °C

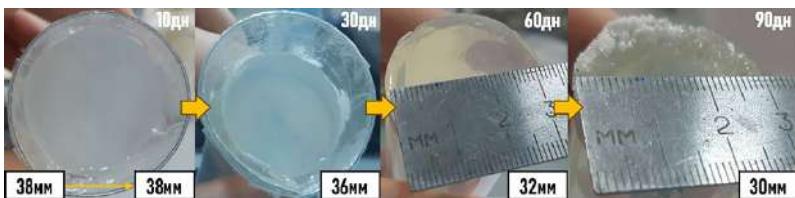


Рис. 9. Изменение диаметра образца в воздушной среде при +4 °C

### Заключение

Результаты, полученные после инъекции геля на основе коллоидного кремнезема в монофракционный мелкий водонасыщенный песок, показали значительный прирост как удельного сцепления, так и модуля деформации грунта в короткий срок, который составил 10 дней. Однако для формирования комплексного понимания конкурентной способности данного материала необходимо оценка его эффективности в сложившихся грунтовых условиях г. Санкт-Петербурга.

**Литература**

1. Роднова В. Ю. Гелеобразующие композиции на основе щелочного золя кремниевой кислоты для ремонтно-изоляционных работ : дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2018. – 142 с.
2. Айлер Р. Химия кремнезема. Часть 2 / Р. Айлер. – М. : Мир, 1982. – 712 с.

## **СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 692.522**

*Алексей Владимирович Карпенко,*

аспирант

*Ирина Васильевна Хомякова,*

канд. техн. наук, доцент

(Калининградский государственный  
технический университет)

*E-mail: rauseralex@gmail.com,*

*irina.khomjakova@kltgu.ru*

*Alexey Vladimirovich Karpenko,*

postgraduate student

*Irina Vasilyevna Khomyakova,*

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Kaliningrad state

Technical University)

*E-mail: rauseralex@gmail.com,*

*irina.khomjakova@kltgu.ru*

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ ПЛОСКИХ КИРПИЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ**

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS TO CALCULATION OF FLAT BRICK FLOORS**

В статье рассматриваются подходы к расчету плоских кирпичных перекрытий, разработанные в XX веке в Российской империи и СССР. Произведен сравнительный анализ трех подходов с выявлением их положительных и отрицательных сторон. Выполнен расчет перекрытия по методике В. Г. Залесского, по методу разрушающих нагрузок и методом приведения сечения к бетону. Сделаны выводы о применимости рассматриваемых подходов для ведения поверочных расчетов конструкций плоских кирпичных перекрытий, характерных для строительных объектов, расположенных в Калининградской области. Определена необходимость проведения эксперимента для уточнения совместности работы кирпича, армирующих элементов и цементного раствора.

*Ключевые слова:* плоские кирпичные перекрытия, кирпич, цемент, перекрытие Клейна, керамический блок.

The article examines approaches to calculating flat brick floors developed in the 20th century in the Russian Empire and the USSR. A comparative analysis of three approaches is made, identifying their positive and negative aspects. The floor is calculated using the method of V. G. Zalessky, the method of destructive loads, and the method of reducing the section to concrete. Conclusions are made on the applicability of the approaches under consideration for conducting verification calculations

of flat brick floor structures typical for construction sites located in the Kaliningrad Region. The need for an experiment to clarify the compatibility of brick, reinforcing elements and cement mortar is determined.

*Keywords:* flat brick floors, brick, cement, Klein floor, ceramic block.

Определение технического состояния несущих строительных конструкций является важной задачей проведения обследований зданий. Но несмотря на научно-технический прогресс, до настоящего времени не сформировано четких рекомендаций по расчету отдельных конструкций. В полной мере это актуально для Калининградской области, так как на ее территории эксплуатируется значительное количество зданий, построенных до 1945 года. Основная конструктивная особенность таких зданий – наличие плоских кирпичных перекрытий. Наиболее часто встречающимися системами таких перекрытий являются:

- Перекрытие Клейна – по металлическим балкам двутаврового сечения из полнотелого керамического кирпича на цементном растворе (рис. 1);
- Перекрытие Шурмана (описано в [1], [2]) – аналогично перекрытию Клейна, но из пустотелых керамических блоков на цементном растворе (рис. 2);
- Перекрытие Аккермана – из пустотелых керамических блоков с формированием в их швах железобетонных армированных ребер (рис. 3, 4).



Рис. 1. Перекрытие Клейна. Производственное здание, г. Калининград



Рис. 2. Перекрытие Шурмана. Город Калининград,  
Туруханский пер., дом 2



Рис. 3. Перекрытие Аккермана (с повреждениями).  
Здание высшей торговой школы (до 1945 г.),  
ныне – Инженерно-технический институт  
Балтийского федерального университета  
имени Иммануила Канта. Город Калининград,  
ул. Генерал-лейтенанта Озерова, 57

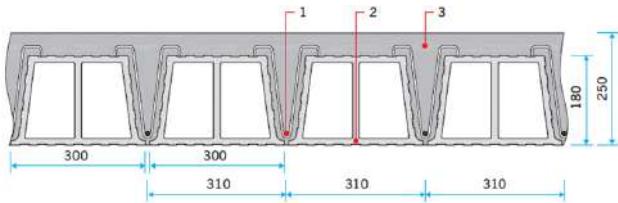


Рис. 4. Перекрытие Аккермана. Разрез. Цифрами обозначены:

1 – армирование, 2 – пустотельный керамоблок, 3 – бетон.

Чертеж взят из работы [3] Лукаша Друбица и Радослава Ясински

Проблематика обследования таких перекрытий заключается в отсутствии описанных в нормативной литературе дефектов и их количественной оценки. А это, в свою очередь, затрудняет определение категорий технического состояния и физического износа. Авторами предпринята попытка проанализировать уже имеющиеся подходы к расчету перекрытия.

Так в [4, гл. 7.18] даны положения для расчета неармированных изгибаемых элементов, однако в большей мере они применимы к стенам. Армированные кирпичные элементы представлены в [4] в виде стен, работающих на сжатие с изгибоом, что также отличается от статической работы перекрытия.

Для определения способа расчета, подходящего для применения к плоским кирпичным перекрытиям, авторами был произведен анализ технической и технико-исторической литературы, выпущенной в Российской империи и СССР. В результате анализа выявлены три способа расчета подобных перекрытий:

- 1) По В. Г. Залесскому (описан в [1]);
- 2) По методу разрушающих нагрузок (описан в [5]);
- 3) Методом приведения сечения к бетону (описан в [6]).

У всех вышеуказанных способов общий подход к решению аналогичен расчету изгибаемых железобетонных элементов с растянутой нижней зоной сечения и сжатой верхней. Однако существует ряд различий:

1) В первом способе высота сжатой зоны принимается равной половине высоты сечения, в двух других – определяется расчетом;

2) В первом способе эпюра сжимающих напряжений принимается треугольной, в остальных – прямоугольной;

3) В первом способе не производится расчет на действие перерезывающих сил, во втором способе такой расчет присутствует. Суть расчета по третьему способу заключается в приведении ширины керамических блоков к бетону, с дальнейшим расчетом по нормам для железобетона (в том числе и современным).

Следует отметить, что способы 2 и 3 разрабатывались применительно к перекрытиям, состоящим из керамоблоков и железобетона, то есть сходным по конструктиву с перекрытием Аккермана. Разница в укладке цементного раствора между кирпичами и бетонной смеси между керамоблоками может привести к различному сцеплению раствора и камней. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости экспериментального подтверждения правильности результатов решений, полученных способами 2 и 3.

Для сравнения результатов, получаемых этими тремя способами, был произведен расчет несущей способности кирпичных заполнений перекрытия. Результаты расчета сведены в таблицу:

Наименование способа	Описание конструктива перекрытия	Величина несущей способности кирпичного заполнения (собственный вес перекрытия вычен)
По В. Г. Залесскому	Перекрытие системы Клейна. Прочность цементного раствора принята равной 30 кг/см <sup>2</sup> . Пролет между несущими балками – 2 м.	1276,3 кг/м <sup>2</sup>
По методу разрушающих нагрузок	Армирование – стальными полосами 2×20 мм	705,35 кг/м <sup>2</sup>
Приведением сечения к бетону		1051,44 кг/м <sup>2</sup>

### Заключение

В результате сравнительного анализа подходов к расчету плоских кирпичных перекрытий установлено, что существующие ме-

тоды дают различающиеся результаты, что может быть обусловлено отсутствием учета факторов качества кладки, силы сцепления бетона с раствором, различие модулей упругости кирпича и раствора. Ввиду различающихся результатов, получаемых при расчетах плоских кирпичных перекрытий, необходимо проведение эксперимента с целью определения фактического характера работы конструкции.

### Литература

1. Залесский В. Г. Архитектура. Краткий курс построения частей зданий [Текст]: учеб. пособие / В. Г. Залесский. – М. : Типо-литография Т-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1904. – 568 с.
2. Залесский В. Г. Атлас чертежей к курсу построения частей зданий / В. Г. Залесский. – М. : Типо-литография Т-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1904.
3. Drobiec Ł. Naprawy i wzmacnienia stropów w starym budownictwie / Ł. Drobiec, R. Jasiński // Materiały 4 konferencyjne Izolacje 2017. – 2017. – № 10. – S. 50–58.
4. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*. М. : ФГУП ЦПП, 2020. 125 с.
5. Пильдиш М. Я. Каменные и армокаменные конструкции зданий / М. Я. Пильдиш, С. В. Поляков. – 2-е изд., перераб. – М. : Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1955. – 400 с.
6. Розенблюмас А. М. Каменные конструкции / А. М. Розенблюмас. – М. : Высшая школа, 1964. – 302 с.

**УДК 624.145.6**

*Нияля Николаевна Фомичева,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Ольга Владимировна Спиренкова,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Александра Сергеевна Тушина,*  
канд. геогр. наук, доцент  
(Сибирский государственный  
университет водного транспорта)  
*E-mail:* [ginelli@mail.ru](mailto:ginelli@mail.ru),  
[olga\\_spirenkova@mail.ru](mailto:olga_spirenkova@mail.ru),  
[tytylechka@mail.ru](mailto:tytylechka@mail.ru)

*Nailya Nikolaevna Fomicheva,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
*Olga Vladimirovna Spirenkova,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
*Alexandra Sergeevna Tushina,*  
PhD in Sci. Geogr., Associate Professor  
(Siberian State University  
of Water Transport)  
*E-mail:* [ginelli@mail.ru](mailto:ginelli@mail.ru),  
[olga\\_spirenkova@mail.ru](mailto:olga_spirenkova@mail.ru),  
[tytylechka@mail.ru](mailto:tytylechka@mail.ru)

## **НАРАСТАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГО-МГНОВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ**

### **THE INCREASE IN THE ELASTIC-INSTANTANEOUS MODULE DEFORMATIONS OF CONCRETE AT AN EARLY AGE**

На термонапряженное состояние блоков бетонирования массивных гидротехнических сооружений оказывают влияние как формирующийся температурный режим, так и изменчивость деформативных характеристик бетона. Целью представленной работы является проведение экспериментальных лабораторных исследований изменения модуля упруго-мгновенных деформаций в зависимости от возраста бетона и температурной нагрузки. Описана методика проведения опытов. Приведены результаты экспериментальных исследований. В заключении отмечается необходимость учета изменчивости модуля упруго-мгновенных деформаций в раннем возрасте при расчетах термонапряженного состояния блоков бетонирования.

*Ключевые слова:* модуль упруго-мгновенных деформаций, бетон раннего возраста, температурная нагрузка.

The thermally stressed state of the concreting blocks of massive hydraulic structures is influenced by both the emerging temperature regime and the variability of the deformative characteristics of concrete. The purpose of the presented work is to conduct experimental laboratory studies of changes in the modulus of elastic-instantaneous deformations depending on the age of concrete and temperature load. The method of conducting experiments is described. The results of experimental studies are presented. In conclusion, it is noted that it is necessary to take into account

the variability of the modulus of elastic-instantaneous deformations at an early age when calculating the thermally stressed state of concreting blocks.

*Keywords:* elastic-instantaneous deformation modulus, early age concrete, temperature load.

К основным свойствам массивного гидротехнического бетона, кроме прочности, тепловыделения, относятся и деформативные характеристики – модуль упруго-мгновенных деформаций и коэффициент линейного расширения.

В бетоне раннего возраста происходят значительные изменения температурного режима, которые зависят от типа конструкции, а также обусловлены тепловыделением, наблюдаемым в процессе гидратации цементного камня, и колебаниями температур окружающей среды. Изменения температуры в бетоне не могут не оказывать влияния на его деформативные и прочностные характеристики.

Опыты показывают, что более высокая температура при укладке и схватывании повышает «раннюю» прочность бетона [1]. Основываясь на связи между модулем деформаций и прочностью, следует ожидать влияния температуры и на модуль упруго-мгновенных деформаций.

Следует отметить, что температурный режим оказывает существенное влияние на рост модуля деформаций бетона в раннем возрасте. Гипотеза о независимости дальнейшего процесса нарастания модуля деформаций бетона от того, каким образом была достигнута данная величина модуля к моменту времени  $t$ , подтверждается исследованиями И. Е. Пухова, Г. Н. Кулешова [3].

Действительно, в какой-то момент времени  $t$  на изменения модуля деформаций бетона не будет сказываться предыстория его температурного режима. Но, если, например, требуется определить температурные напряжения в блоке в возрасте двух, трех, пяти, семи суток, то, очевидно, вводить в конкретную задачу надо именно те значения модуля упруго-мгновенных деформаций, которые были получены при соответствующем расчетному температурному режиме.

В связи с вышеизложенным при расчетах термоанпряженного состояния блоков бетонирования массивных гидротехнических сооружений необходимо учитывать изменение деформативных

характеристик бетона. В раннем возрасте бетона эти характеристики изменяются во времени и зависят от температурного режима [4, 5].

Актуальность рассматриваемой темы состоит в достоверном подходе при расчете температурных напряжений в бетонных сооружениях. С учетом этого, а также сложности и многофакторности процессов изменения рассматриваемых деформативных свойств, поставлена задача экспериментальным путем получить значения модуля упруго-мгновенных деформаций бетона в его раннем возрасте.

Методика исследований носит экспериментальный характер, для чего изготавливались образцы из бетона.

Так как деформативные характеристики бетона зависят от его состава, технологии бетонирования, температурного режима и др., необходимо иметь характеристики конкретного бетона, укладываемого в сооружения. На стадии строительства бетонных сооружений для расчетного обоснования регулирования температурного режима необходимы данные по деформативным характеристикам бетона [6, 7]. Поэтому встает задача о разработке экспериментальных установок и методики определения деформативных характеристик бетона непосредственно на стройплощадке, в полевых условиях.

Для испытаний бетонных образцов с целью определения модуля упруго-мгновенных деформаций предлагается несложный стенд (рис. 1), который позволяет определять прогиб балочек при действии на них механической нагрузки, создаваемой домкратом. Силовые воздействия фиксируются динамометром, а прогиб – индикаторами часового типа. Индикаторы устанавливаются в центре и по осям закрепления балки. Последние позволяют исключить возможное смещение всей установки. Фактический прогиб определяется по формуле

$$u_{\phi} = u - (u_1 + u_2)/2,$$

где  $u$  – прогиб балки в центре;  $u_1, u_2$  – смещение опор.

Для определения модуля упруго-мгновенных деформаций бетона на описанном стенде изготавливались балочки  $5 \times 5 \times 50$  см из бетона состава  $1:2,6 \div 3,2$  по весу с водоцементным отношением 0,52. Эти балочки тщательно гидроизолировались техническим воском

и полихлорвиниловой пленкой. Затем помещались в емкость с водой и с помощью системы из термостата и насоса для них поддерживался заданный температурный режим. Балочки подвергались испытанию на изгиб в различном возрасте. Прикладываемое усилие создавалось домкратом, а величина развиваемой деформации фиксировалась индикаторами часового типа с ценой деления 0,001.

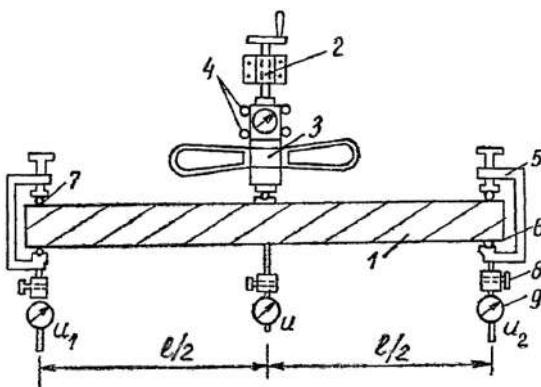


Рис. 1. Стенд для определения модуля упруго-мгновенных деформаций бетона: 1 – бетонный образец; 2 – силовой механизм; 3 – динамометр ДС-0,3; 4 – направляющие; 5 – обжимающая струбцина; 6 – неподвижный стержень 7÷8 мм (постоянный шарнир); 7 – съемные стержни (временный шарнир); 8 – крепление индикатора; 9 – индикатор

Результаты исследований представлены в виде графиков изменения модуля в зависимости от возраста бетона и температурной нагрузки (рис. 2). Экспериментальные точки показывают, что на изменение модуля упруго-мгновенных деформаций оказывают влияние температурный режим, в котором выдерживался образец, и возраст бетона. Это важный момент, так как в зависимости от климатических условий района возведения сооружения, сезона бетонирования, схемы разрезки (столбчатая, послойная) бетон подвергается температурным воздействиям в различном возрасте, в нем по-разному формируется температурный режим, в разное время наступает пик экзотермии и т. п.

Кривая  $b$  (рис. 2) соответствует случаю, когда бетон первые трое суток твердел при температуре плюс  $19^{\circ}\text{C}$ , затем его температура была повышена на  $\Delta T = 26^{\circ}\text{C}$  и в дальнейшем он твердел при температуре плюс  $45^{\circ}\text{C}$ . Кривая  $g$  показывает изменения  $E(t)$ , когда бетон первые восемь суток имел температуру  $16^{\circ}\text{C}$ , а затем плюс  $48^{\circ}\text{C}$ .

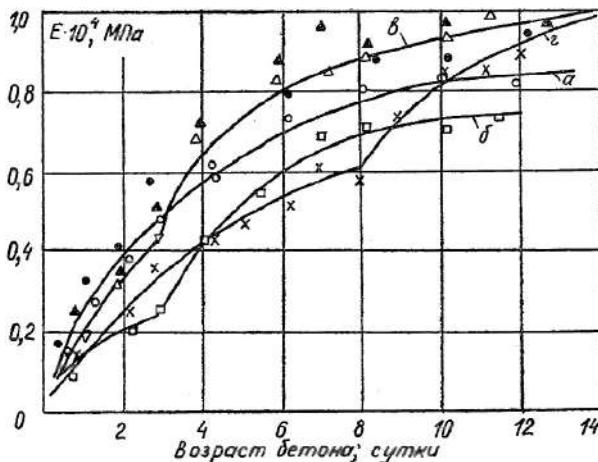


Рис. 2. Изменение модуля упруго-мгновенных деформаций бетона в раннем возрасте:  $a - \tau_0 = 1$  сут;  $T = 15 + 30 = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $\delta - \tau_0 = 3$  сут;  $T = 11 + 37,5 = 48,5^{\circ}\text{C}$ ;  $\varepsilon - \tau_0 = 3$  сут;  $T = 19 + 26 = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau_0 = 3$  сут;  $7' = 194 - 25 = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $z - \tau_0 = 8$  сут;  $T = 16 + 32 = 48^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\blacktriangle$  – испытания на прессе  $\tau_0 = 3$  сут;  $T = 19 + 26 = 45^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\bullet$  – испытания на прессе  $\tau_0 = 1$  сут;  $T = 15 + 30 = 45^{\circ}\text{C}$ .

Первое слагаемое – температура укладки;

второе – температурная нагрузка

Несмотря на сходный температурный режим, изменение модуля упруго-мгновенных деформаций происходит по-разному. И хотя в более зрелом возрасте значения модуля упруго-мгновенных деформаций выравниваются, то в раннем возрасте, например 10-суточном, видны различия: для кривой  $b - E(t) = 0,95 \cdot 10^4$ , МПа, а для кривой  $g - E(t) = 0,82 \cdot 10^4$  МПа. Соответственно по кривым  $a, b$  (рис. 2), отражающим нарастание модуля упруго-мгновенных деформаций

при повышении температуры бетона в суточном и трехсуточном возрасте, отличие в величинах  $E(t)$  для возраста  $t = 8$  сут составляет  $0,11 \times 10^4$  МПа, или 15 %.

Также выполнялись исследования по общепринятой методике с испытанием бетонных кубиков на прессах. Бетонные образцы изготавливались из бетона того же состава и выдерживались в идентичных температурных условиях. Для того, чтобы видеть, в каком соответствии находится предлагаемый метод определения модуля с общепринятыми, на рис. 2. приведены результаты испытания кубиков на прессе для двух температурных режимов. Одна серия образцов выдерживалась трое суток при температуре 19 °C, затем температура повышалась на 26 °C и составляла 45 °C. Другая серия выдерживалась одни сутки при температуре 15 °C, затем прикладывалась температурная нагрузка в 30 °C. Точки ложатся близко к кривым  $b$  и  $a$ , что говорит о хорошем соответствии предлагаемого метода с общепринятыми.

Соответствующая обработка полученных данных позволила сделать вывод, что модуль  $E(t)$  в раннем возрасте бетона изменяется интенсивно. Поэтому при решении практических инженерных задач рекомендуется принимать значения  $E(t)$ : для бетона двухсуточного возраста  $(0,21 \div 0,38) \cdot 10^4$  МПа; четырехсуточного –  $(0,42 \div 0,65) \cdot 10^4$ ; восьмисуточного –  $(0,62 \div 0,9) \cdot 10^4$ ; двенадцатисуточного –  $(0,73 \div 0,96) \cdot 10^4$  МПа. При этом следует учитывать температурный режим рассчитываемой конструкции согласно данным, приведенным на рис. 2.

### Заключение

Разработанные установки и методика проведения экспериментальных исследований могут широко использоваться для определения деформативных характеристик бетона раннего возраста.

На значения модуля упруго-мгновенных деформаций бетона существенное влияние оказывает температурный режим при его твердении.

При расчетном обосновании термоапрессированного состояния бетонных блоков гидротехнических и других сооружений

в строительный период необходимо учитывать реальные изменения деформативных свойств бетона в раннем возрасте.

### **Литература**

1. Гинзбург С. М., Шейнкер Н. Я., Добрецова И. В., Вознесенская Н. В. Исследования по термике бетонных сооружений. – СПб. : Известия ВНИИГ. Т. 263. 2012. С. 87–97.
2. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия с учетом ползучести. – М. : Стройиздат, 2003. – 712 с.
3. Пухов И. Е., Кулешов Г. Н. Исследования характеристик упругости и ползучести бетона плотины Андижанского водохранилища. – Гидротехническое строительство, 1981, № 12, с. 23.
4. Макеева А. В., Семенов К. В., Макеев А. А., Амелина А. В. Трещиностойкость массивных бетонных конструкций в строительный период с учетом температурных воздействий. – Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова Т. 4, № 8, 2019.
5. Стручкова А. Я., Семенов К. В. Термическая трещиностойкость массивных железобетонных конструкций в строительный период. – Строительство уникальных зданий и сооружений № 2. Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2014. С. 125–135.
6. Добрецова И. В., Галактионов Д. Е. Температурный режим и термо-напряженное состояние массивных железобетонных элементов конструкций АЭС при их возведении. – СПб. : Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 2013.
7. Барабаников Ю. Г., Семенов К. В., Стручкова А. Я., Мановицкий С. С. Оценка учета влияния температуры твердения на процесс тепловыделения в расчетах термонапряженного состояния массивных бетонных и железобетонных конструкций в строительный период / Приволжский научный вестник. – 2017. – № 1(65). – С. 11–17.

## **СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 691.113:620.178.151.6:620.179**

*Антон Олегович Быков,*

магистрант

*Павел Геннадьевич Тимаков,*

магистрант

*Александр Сергеевич Королев,*

канд. техн. наук

*Евгений Сергеевич Шарапов,*

д-р техн. наук, доцент

(Поволжский государственный  
технологический университет)

*E-mail: anton\_bykov02@mail.ru,*

*pavel.timakov.99@mail.ru,*

*korolevas@volgatech.net,*

*sharapoves@volgatech.net*

*Anton Olegovich Bykov,*

Master's degree student

*Pavel Gennadievich Timakov,*

Master's degree student

*Alexandr Sergeevich Korolev,*

PhD in Sci. Tech

*Evgeniy Sergeevich Sharapov,*

Dr. Sci. Tech., Associate Professor

(Volga State University

of Technology)

*E-mail: anton\_bykov02@mail.ru,*

*pavel.timakov.99@mail.ru,*

*korolevas@volgatech.net,*

*sharapoves@volgatech.net*

### **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДАМИ УПРУГОГО ОТСКОКА И УДАРНОГО ИМПУЛЬСА**

**METHODS FOR ASSESSING AND ANALYZING  
THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF WOOD BY THE METHODS OF ELASTIC REBOUND  
AND SHOCK PULSE**

Для косвенного определения в полевых условиях прочности и твердости строительных материалов активно используются методы ударного импульса и упругого отскока. Однако возможность применимость данных методов для оценки свойств древесины хвойных пород в существующих научных работах не представлено. Целью данной работы являлось оценка возможности определения плотности, статической твердости и динамического модуля упругости древесины сосны методами ударного импульса и упругого отскока в трех направлениях анизотропии. Исследования проведены на прямослойных, бездефектных образцах древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*). Для определения

величин ударного импульса и упругого отскока использовали приборы Oniks 2.6. и Proceq Silver Schmidt тип L, соответственно. Статическую твердость определяли на поверхностях тангенциального, радиального и поперечного разрезов древесины в соответствии с ГОСТ 16483.17–81 на универсальной испытательной машине УТС-111.2-100-62. Выявлена значимая корреляционная связь между плотностью ( $R^2 = 0,49$ ) и динамическим модулем упругости вдоль волокон ( $R^2 = 0,39$ ) с величиной упругого отскока от радиальной поверхности образца. Полученные регрессионные модели могут быть использованы для неразрушающей оценки плотности и динамического модуля упругости вдоль волокон.

*Ключевые слова:* склерометр, неразрушающий контроль, плотность древесины, статическая твердость, динамический модуль упругости.

The impact pulse and elastic rebound methods are widely used for indirect determination of the strength and hardness of building materials in the field. However, the applicability of these methods for assessing the properties of coniferous wood has not been reported in existing scientific papers. The objective of this work was to assess the possibility of determining the density, static hardness and dynamic modulus of elasticity of pine wood using the impact pulse and elastic rebound methods in three directions of anisotropy. The studies were conducted on straight-grained, defect-free samples of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. To determine the impact pulse and elastic rebound values, the Onyx 2.6 and Proceq Silver Schmidt type L devices were used, respectively. Static hardness was determined on the surfaces of tangential, radial and transverse cuts of wood in accordance with GOST 16483.17–81 on a UTS-111.2-100-62 universal testing machine. A significant correlation was found between the density ( $R^2 = 0,49$ ) and the dynamic modulus of elasticity along the fibers ( $R^2 = 0,39$ ) with the value of elastic rebound from the radial surface of the sample. The obtained regression models can be used for non-destructive assessment of the density and dynamic modulus of elasticity along the fibers.

*Keywords:* sclerometer, non-destructive testing, wood density, static hardness, dynamic modulus of elasticity.

## **Введение**

Сегодня для оперативного определения в полевых условиях прочности и твердости строительных материалов активно применяются методы ударного импульса и упругого отскока. Метод ударного импульса основан на регрессионной зависимости амплитудных и временных показателей соударения индентора с исследуемым материалом [2], а метод упругого отскока заключается в оценке отношения скорости индентора после и до соударения с поверхностью изучаемого материала [1]. Преимуществами применения данных

методов является простота, скорость, а также не высокая стоимость применяемых приборов.

Результаты исследований направленные на поиск сопряжённости плотности, твердости, прочности древесины с величиной упругого отскока представлены в работах [4, 6, 5]. Установлено, что на точность прогнозирования свойств древесины методом упругого отскока влияют такие факторы как влажность, направление волокон и ее порода. При этом на данный момент нет информации по сопряженности свойств хвойных пород древесины с величинами ударного импульса или упругого отскока.

В связи с этим цель данного исследования являлась оценка возможности косвенного определения плотности, статической твердости и динамического модуля упругости древесины сосны с помощью методов ударного импульса и упругого отскока.

### **Материалы и методы**

Лабораторные исследования проведены на 67 прямослойных, бездефектных образцах древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) размером  $50 \times 50 \times 50$  мм<sup>3</sup> (рис. 1). Они изготовлены из заболонной и ядровой части сердцевинной доски и кондиционированы в климатической комнате при 20 °C / 65 % RH до равновесной влажности. Плотность древесины определяли стереометрическим способом с использованием электронного штангенциркуля и лабораторных весов Vibra ALE-623 (Shinko Denshi Co., Ltd., Токио, Япония).

Следующим этапом определяли скорость прохождения ультразвуковых колебаний через изготовленные образцы в трех направлениях ее анизотропии с целью определения динамического модуля упругости. Измерение времени прохождения ультразвукового сигнала осуществлялось с использованием прибора Пульсар 2.2 (ООО НПП «Интерприбор», Челябинск, Россия). Измерения проводили посредством сухого акустического контакта по переднему фронту сигнала с расположением приемника и передатчика друг напротив друга (рис. 2, а). Расчет динамического модуля упругости [3], без учета коэффициентов поперечной деформации, для каждого направления анизотропии, осуществляли как произведение плотности на квадрат скорости ультразвуковых колебаний.

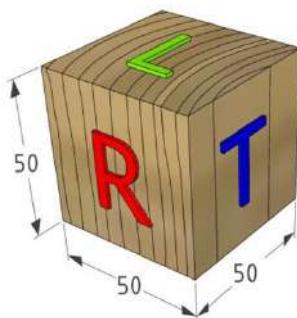


Рис. 1. Схематичное изображение образца древесины сосны с обозначением его торцовой (*L*) радиальной (*R*) и тангенциальной (*T*) поверхности

Статическую твердость древесины определяли на тангенциальной, радиальной и торцовой поверхностях образцов в соответствии с ГОСТ 16483.17-81 на универсальной испытательной машине УТС-111.2-100-62 (ООО «Тестсистемы», Иваново, Россия) (рис. 2, *б*).

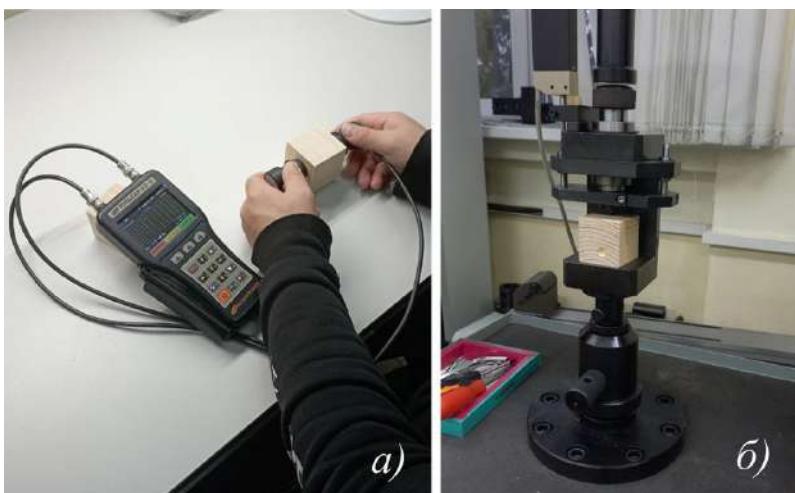


Рис. 2. Проведение измерений по определению:  
*а* – скорости ультразвуковых колебаний; *б* – статической твердости

Для определения параметра ударного импульса использовали прибор Оникс 2.6 (ООО НПП «Интерприбор», Челябинск, Россия), а величина упругого отскока определялась при помощи прибора Silver Schmidt тип L (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария). Измерения величин ударного импульса (рис. 3, *a*) и упругого отскока (рис. 3, *б*) осуществляли в вертикальном направлении, перпендикулярно торцовой радиальной и тангенциальной поверхности образца, на поверхности опорной плиты испытательной машины.

Статистическая обработка результатов измерений и расчетов проводилась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel (Microsoft Corp., Редмонд, Вашингтон, США) и Sigma-Plot 14.0 (Systat Software Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США).

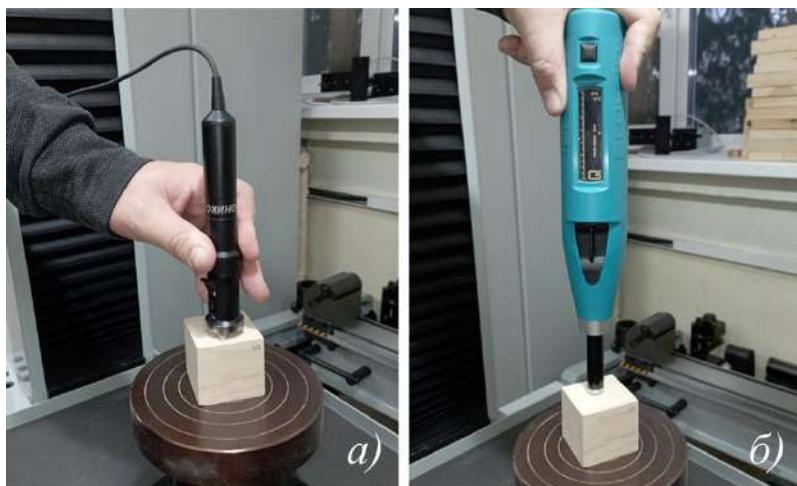


Рис. 3. Проведение измерений по определению величин:

- а* – ударного импульса, прибором Оникс 2.6;  
*б* – упругого отскока, прибором Silver Schmidt тип L

## Результаты

В таблице 1 представлены статистические показатели результатов измерения плотности ( $\rho_{12}$ ); статической твердости торцовой ( $H_t$ ), радиальной ( $H_R$ ) и тангенциальной ( $H_T$ ) поверхности

образца; динамического модуля упругости вдоль волокон ( $E_{\text{дин}}^L$ ) и по-перек в радиальном ( $E_{\text{дин}}^R$ ) и тангенциальном ( $E_{\text{дин}}^T$ ) направлениях; величины ударного импульса от торцовой ( $S_L$ ), радиальной ( $S_R$ ) и тангенциальной ( $S_T$ ) поверхности, а также упругого отскока от торцовой ( $Q_L$ ), радиальной ( $Q_R$ ) и тангенциальной ( $Q_T$ ) поверхности образца.

Таблица 1

### Статистические показатели оцениваемых параметров

Параметр	Статистические показатели оцениваемых параметров						
	$M \pm m$	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$S_x$	$CV$	$A_{\text{ст}}$	$E_{\text{ст}}$
$\rho_{12}$	$396,1 \pm 2,6$	354,9	430,8	21,45	5,4	0,18	-2,04
$H_L$	$29,27 \pm 0,27$	25,3	36	2,19	7,5	2,07	0,8
$H_T$	$13,12 \pm 0,15$	10,9	15,5	1,2	9,2	0,73	-1,12
$H_R$	$13,14 \pm 0,19$	10,1	16,6	1,6	12,2	0,93	-0,49
$E_{\text{дин}}^L$	$10367 \pm 117$	7995	12256	960,9	9,2	-1,65	-0,39
$E_{\text{дин}}^T$	$999 \pm 11,3$	834	1284	92,1	9,2	2,47	1,13
$E_{\text{дин}}^R$	$1665 \pm 9,7$	1513	1897	79,8	4,8	1,35	0,77
$S_L$	$14,10 \pm 0,17$	11,21	17,85	1,4	10,1	1,18	0,33
$S_T$	$6,09 \pm 0,11$	3,24	7,76	0,88	14,4	-3,10	2,97
$S_R$	$6,22 \pm 0,11$	4,17	8,37	0,88	14,2	0,80	-0,27
$Q_L$	$37,66 \pm 0,27$	34,5	48	2,23	5,9	6,69	10,77
$Q_T$	$31,43 \pm 0,41$	23	40	3,35	10,7	0,22	0,36
$Q_R$	$39,24 \pm 0,43$	32	44,5	3,51	8,9	-1,45	-1,22

Примечание:  $M \pm m$  – среднее значение параметра и его ошибка;  $X_{\min}, X_{\max}$  – минимальное и максимальное значения параметра;  $S_x$  – стандартное отклонение значений параметра;  $CV$  – коэффициент вариации, %;  $A_{\text{ст}}$  – стандартизованная величина асимметрии;  $E_{\text{ст}}$  – стандартизированная величина эксцесса.

Для оценки возможности прогнозирования физико-механических свойств древесины сосны методами ударного импульса и упругого отскока в таблице 2 представлены коэффициенты детерминации линейных моделей взаимосвязи плотности, статической твердости тангенциальной, радиальной и торцовой поверхности образцов древесины с величинами ударного импульса и упругого отскока от них.

Таблица 2

**Коэффициенты детерминации линейных моделей взаимосвязи плотности, статической твердости и динамического модуля упругости с величинами ударного импульса и упругого отскока от торцовой, радиальной и тангенциальной поверхности образца**

Параметр	$S_L$	$S_T$	$S_R$	$Q_L$	$Q_T$	$Q_R$
$H_L$	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,07
$H_T$	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,03
$H_R$	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,12
$\rho_{12}$	0,01	0,03	0,10	0,02	0,04	<b>0,49</b>
$E_{дин}^L$	0,01	0,01	0,16	0,13	0,10	<b>0,39</b>
$E_{дин}^R$	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
$E_{дин}^T$	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,27

Согласно полученным результатам, выявлено отсутствие сопряжённости величины ударного импульса от торцовой, радиальной и тангенциальной поверхности образа с плотностью и статической твердостью древесины. Однако обнаружена заметная корреляционная связь плотности ( $R^2 = 0,49$ ) и динамического модуля упругости вдоль волокон ( $R^2 = 0,39$ ) с величиной упругого отскока от радиальной поверхности древесины.

Результаты регрессионного анализа взаимосвязи плотности и динамического модуля упругости вдоль волокон с величиной упругого отскока от радиальной поверхности образца древесины представлены в таблице 3.

На практике полученные модели могут быть использованы при ориентировочной оценке технического качества древесины сосны в пиломатериалах, лесоматериалах и элементах деревянных конструкций при проведении первичного инструментального обследования.

Таблица 3

**Линейные модели взаимосвязи плотности  
и динамического модуля упругости с величиной  
упругого отскока от радиальной поверхности образца**

Модель	$R^2$	SEE
$\rho_{L2} = 563,78 - 4,2721 \cdot Q_R$	0,49	15,45
$E_{дин}^L = 17054,6 - 170,434 \cdot Q_R$	0,39	757,1

*Примечание:*  $R^2$  – коэффициент детерминации; SEE – стандартная ошибка аппроксимации

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение сопряжённости величины ударного импульса и упругого отскока от поверхности древесины с ее физико-механическими свойствами при использовании инденторов с большим радиусом закругления, а также увеличением диапазона вариации плотности древесины, за счет расширения породного состава.

### **Заключение**

Получены линейные модели между плотностью ( $R^2 = 0,49$ ) и динамическим модулем упругости вдоль волокон ( $R^2 = 0,39$ ) с величиной упругого отскока, полученной прибором Silver Schmidt тип L, от радиальной поверхности образца. Они могут быть использованы для неразрушающей ориентировочной оценки плотности и динамического модуля упругости вдоль волокон древесины сосны у пиломатериалов и элементов деревянных конструкций с использованием прибора Silver Schmidt тип L.

### Литература

1. Стихановский Б. Н., Скобликова М. В. Определение твердости и дефектов поверхности методом упругого отскока // Современные научные исследования и инновации. 2011. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2011/11/5286/> (дата обращения: 02.05.2025).
2. Ямпольский Д. З. О возможности определения энергии ударного импульса методом индикаторных диаграмм // Вестник научно-технического развития. 2024. № 2(173). С. 9–15. [Https://doi.org/10.18411/vntr2024-173-2/](https://doi.org/10.18411/vntr2024-173-2/)
3. Bucur V. Acoustics of wood. Berlin, Springer, 2006, 393 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-30594-7/>
4. Martins I. Z., Deldotti L. R., Soriano J. et al. Janka hardness of hardwood species evaluated by the nondestructive sclerometric method. Materials and Structures, 2022, vol. 55, 227 (2022). [Https://doi.org/10.1617/s11527-022-02064-x/](https://doi.org/10.1617/s11527-022-02064-x/)
5. Soriano J., Goncalves R., Bertoldo C., Trinca A. J. Application of esclerometric test method in pieces of Eucalyptus saligna. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2011, vol. 15, pp. 322–328 (in Portuguese). [Https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000300015/](https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000300015/)
6. Soriano J., da Veiga N. S., Martins I. Z. Wood density estimation using the sclerometric method. European Journal of Wood and Wood Products, 2015, vol. 73, pp. 753–758. [Https://doi.org/10.1007/s00107-015-0948-3/](https://doi.org/10.1007/s00107-015-0948-3/)

**УДК 620.179**

Олег Сергеевич Егoshин,  
аспирант

Александр Сергеевич Королев,  
канд. техн. наук

Евгений Сергеевич Шарапов,  
д-р техн. наук, доцент  
(Поволжский государственный  
технологический университет)

E-mail: egoshin.o.s@mail.ru,  
korolevas@volgatech.net,  
sharapoves@volgatech.net

Oleg Sergeevich Egoshin,  
postgraduate student

Alexandr Sergeevich Korolev,  
PhD in Sci. Tech.

Evgeniy Sergeevich Sharapov,  
Dr. Sci. Tech., Associate Professor  
(Volga State University  
of Technology)

E-mail: egoshin.o.s@mail.ru,  
korolevas@volgatech.net,  
sharapoves@volgatech.net

**К ВОПРОСУ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ  
В ПЛИТАХ ИЗ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕНОЙ  
ДРЕВЕСИНЫ ФИЗИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

**ON THE ISSUE OF DETECTING DEFECTS  
IN CROSS-LAMINATED TIMBER BOARDS  
BY PHYSICAL MEANS**

Применение радиоволнового сканирования при проведении обследования строительных конструкций и сооружений сегодня является обыденной задачей при неразрушающем контроле. Результаты оценки технического состояния деревянных конструкций или обнаружение в них дефектов методами радиоволнового сканирования в научно-технической литературе представлены незначительно. Целью данной работы являлось определение возможности применения метода радиоволнового сканирования (георадара) для обнаружения дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины. Исследования проводились на плитах толщиной 120 и 200 мм, изготовленных из древесины сосны, с заложенными в центральном слое дефектами в виде полости, отсутствия клеевого шва между слоями и заготовки, пораженные гнилью. Сканирование плит осуществлялось георадаром GP8800 (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария). Радиоволновое сканирование с высокой точностью позволяет определить наличие полостей, однако отсутствие клеевого слоя или заготовок слоя, поражённых гнилью, обнаружить не удалось. Полученный результат, может быть обоснован высокой изменчивостью свойств древесины, в частности диэлектрической проницаемости, зависящей от направления волокон, влажности и породы древесины.

*Ключевые слова:* георадар, радиоволновой метод, неразрушающий контроль, диэлектрическая проницаемость древесины.

The use of ground-penetrating radar for scanning building structures during building inspections is now a common task in non-destructive testing. The results of assessment of technical state of wooden structures or detection of defects in them by ground-penetrating radar are insignificantly presented in scientific and technical literature. The aim of this work was to determine the possibility of using ground-penetrating radar to detect defects in cross-laminated timber panels. The research was conducted on 120 and 200 mm thick panels made of pine wood with defects in the central layer in form of cavities, absence of glue joint between layers, and rot-affected layer blanks. The boards were scanned using a GP8800 GPR (Proceq SA, Schwerzenbach, Switzerland). Radio wave scanning with high accuracy allows the presence of cavities to be determined, but the absence of an adhesive layer or rot-affected layer could not be detected. The result obtained can be explained by the high variation in the properties of wood, in particular dielectric permeability, which depends on the direction of the fibers, moisture content, and wood species.

*Keywords:* ground-penetrating radar, radio wave technique, non-destructive testing, dielectric permeability of wood.

## Введение

В настоящее время метод радиоволнового сканирования активно применяется при обследовании строительных конструкций [5], для обнаружения в них дефектов, оценки технического состояния, а также определения местоположения подземных коммуникаций [6]. Данный метод основан на анализе взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с объектом контроля. Отмечается использование метода для обнаружения внутренних дефектов в растущих деревьях [4], лесоматериалах [3] и элементах деревянных конструкций [7]. С целью обнаружения скрытых внутренних дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины применяют методы ультразвукового сканирования, а также метод измерения сопротивления древесины сверлению [1]. При этом информации касательно применимости именно метода радиоволнового сканирования для обнаружения дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины в научно-технической литературе представлено ограничено.

На основании этого, целью данной работы являлось определение возможности применения метода радиоволнового сканирования

(георадара) для обнаружения дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины (ДПК).

### Материалы и методы

Для проведения исследования были использованы плиты из ДПК трехслойная и пятислойная размером  $1000 \times 1000$  мм<sup>2</sup>, толщиной 120 и 200 мм соответственно, с заложенными дефектами в центральном слое, схема которых представлена на рис. 1.

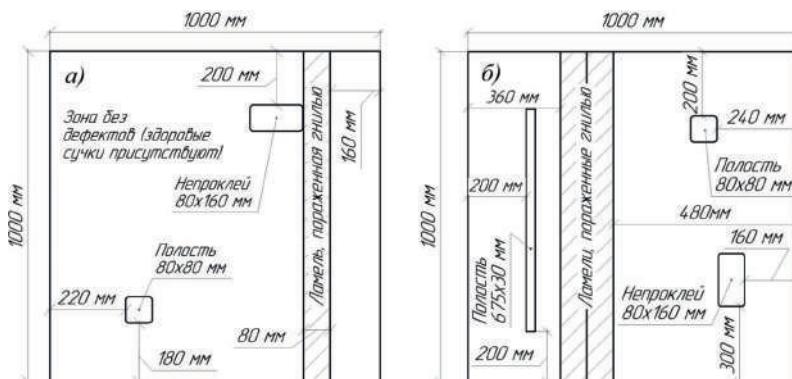


Рис. 1. Схема расположения заложенных дефектов в центральном слое плиты из ДПК:  
а – трехслойной толщиной 120 мм;  
б – пятислойной толщиной 200 мм

Для их изготовления использовался пиломатериал древесины сосны камерной сушки влажностью от 10 до 12 %, откалибранный до размеров в поперечном сечении  $40 \times 80$  мм<sup>2</sup>. Дефектами выступали: полости, не проклей между смежными слоями плиты и заготовки слоя, пораженные пестрой гнилью.

Для оценки внутреннего состояния плит методом радиоволнового сканирования применялся георадар Proceq GP8800 (Proceq SA, Шверценбах, Швейцария). Сканирование осуществляли в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2, а, при ее горизонтальном расположении (рис. 2, б). Коэффициент диэлектрической

проницаемости был принят 3,0 для древесины сосны плотностью 505 кг/м<sup>3</sup> и влажностью 7 % в соответствии с данными [2].

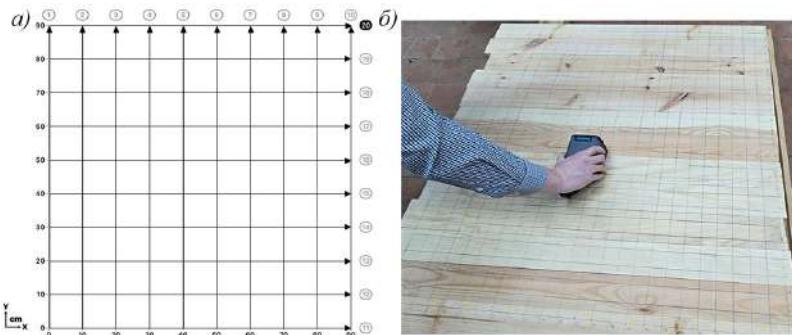


Рис. 2. Проведение сканирования плит из ДПК георадаром:  
а – схема сканирования; б – GP8800

## Результаты

Результат радиоволнового сканирования трёхслойной (120 мм) и пятислойной (200 мм) плит из перекрестноклееной древесины с изображением центрального слоя с заложенными дефектами представлен на рисунках 3 и 4, соответственно.

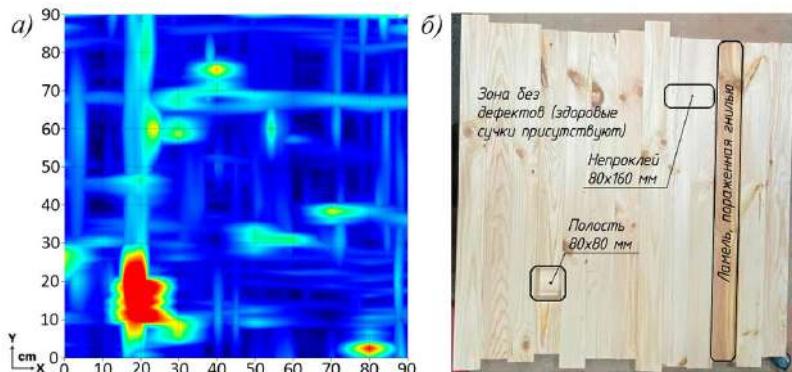


Рис. 3. Контурный график радиоволнового сканирования трехслойной плиты: а – толщина плиты 120 мм;  
б – изображение центрального слоя этой плиты перед склеиванием

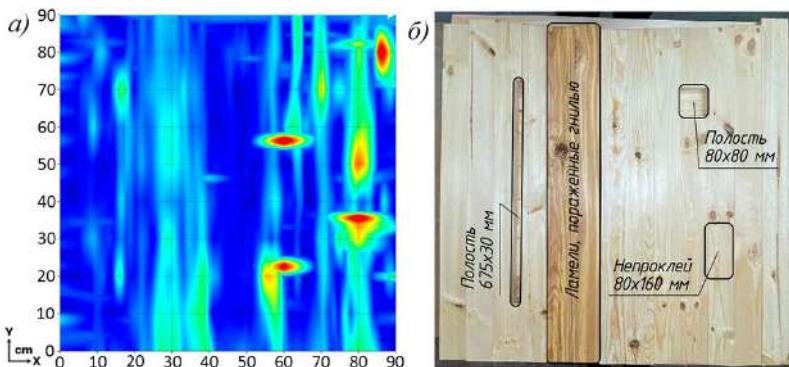


Рис. 4. Контурный график радиоволнового сканирования пятислойной плиты: а – толщина плиты 200 мм; б – изображение центрального слоя этой плиты перед склеиванием

На основании оценки результатов полученных при радиоволновом сканировании изготовленных плит, установлено, что данный метод с высокой точностью позволяет осуществлять обнаружение полостей, при этом, чем больше толщина плиты, а соответственно и относительный размер полости, тем менее информативен используемый метод. На наш взгляд, это связано с высокой изменчивостью свойств древесины, в частности величины диэлектрической проницаемости, а также ее анизотропией. Дефекты в виде отсутствия клеевого слоя и заготовок слоя, поражённых сизовой гнилью методом радиоволнового сканирования в исследуемых плитах обнаружить не удалось.

### Заключение

Установлено, что радиоволновое сканирование с высокой точностью позволяет определить наличие полостей в плитах из перекрестноклееной древесины, однако другие дефекты данным методом обнаружить не удалось.

Для точной идентификации дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины необходимо комплексное использование методов неразрушающего контроля. Так как каждый применяемый

метод имеет свои преимущества и недостатки, а также особенности интерпретации полученных результатов.

Следующий этап работ в данном направлении будет направлен на разработку комплексной методики неразрушающего контроля в области обнаружения дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины, а также на оценку влияния клеевого шва и направления волокон заготовок слоя на скорость ультразвуковых колебаний.

### **Литература**

1. Королев А. С., Шарапов Е. С., Егошин О. С. Определение скрытых дефектов в перекрестноклеенных плитах из древесины сосны (*Pinus sylvestris L.*) // Известия вузов. Лесной журнал. 2025. № 2. С. 143–153. [Https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-2-143-153/](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-2-143-153)
2. Узолов Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение. 5-е изд., перераб. и доп. М. : МГУЛ, 2007. 351 с.
3. Halabe U. B., Agrawal S., Gopalakrishnan B. (2009). Nondestructive evaluation of wooden logs using ground penetrating radar. Nondestructive Testing and Evaluation, 24(4), 329–346. [Https://doi.org/10.1080/10589750802474344/](https://doi.org/10.1080/10589750802474344/)
4. Sudakova M., Terentyeva E., Kalashnikov A. Assessment of Health Status of Tree Trunks Using Ground Penetrating Radar Tomography. AIMS Geosciences, 2021, Vol. 7, Issue 2: 162–179. [Https://doi.org/10.3934/geosci.2021010/](https://doi.org/10.3934/geosci.2021010/)
5. Tosti F., Ferrante C. Using Ground Penetrating Radar Methods to Investigate Reinforced Concrete Structures. Surv Geophys 41, 485–530 (2020). [Https://doi.org/10.1007/s10712-019-09565-5/](https://doi.org/10.1007/s10712-019-09565-5/)
6. Yang Su, Jun Wang, Danqi Li, Xiangyu Wang, Lei Hu, Yuan Yao, Yuanxin Kang. End-to-end deep learning model for underground utilities localization using GPR, Automation in Construction, Volume 149, 2023, 104776, ISSN 0926-5805. [Https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104776/](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104776/)
7. Zybala T., Zielińska M., Rucka M. et al. Typology, current state and non-destructive testing of timber roof trusses of historic churches in the West Vistula Delta, Poland. Heritage Science, 12, 156 (2024). [Https://doi.org/10.1186/s40494-024-01263-9/](https://doi.org/10.1186/s40494-024-01263-9/)

**УДК 694**

*Никита Алексеевич Зверев,  
магистрант  
Егор Владимирович Данилов,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: nikita.zverekgood@gmail.com,  
edanilov@lan.spbgasu.ru*

*Nikita Alexeyevich Zverev,  
Master's degree student  
Egor Vladimirovich Danilov,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: nikita.zverekgood@gmail.com,  
edanilov@lan.spbgasu.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ СОСТАВНЫХ ДВУТАБРОВЫХ БАЛОК**

### **INVESTIGATION OF METHODS FOR STRENGTHENING COMPOSITE I-BEAMS**

Инженерные коммуникации – это очень важный аспект любого сооружения. Иногда для прокладки коммуникаций появляется необходимость проделывать в несущих конструкциях отверстия под них. В отличии от зарубежных норм, в отечественной документации не нормируются ни допустимые размеры отверстий в несущих конструкциях, ни их расположение. Кроме того, отверстие само по себе снижает несущую способность, и, возможно, стоит рассмотреть варианты усиления данных балок.

В данной работе была разработана расчётные модели методом КЭ балок с отверстиями и усилениями. Произведён анализ влияния различных параметров отверстий на НДС балок. Произведены сравнения балок без и с усилениями. Определено от каких параметров усиления зависит её эффективность.

*Ключевые слова:* усиление, составная балка, балка с ОСП-стенкой, деревянная балка, деревянные конструкции, балки с отверстием.

Engineering communications is a very important aspect of any building. Sometimes, for laying communications, it becomes necessary to make openings in the load-bearing structures. Unlike foreign standards, local documentation does not regulate either the permissible sizes of openings in load-bearing structures or their location. In addition, the opening itself reduces the load-bearing capacity, and it may be worth considering options for reinforcing these beams.

In this work, computational models of beams with openings and reinforcements were developed using the finite element method. The influence of various opening parameters on the capacity of beams is analyzed. Comparisons of beams without

and with reinforcements have been made. It is determined on which reinforcement parameters its effectiveness depends.

*Keywords:* reinforcement, composite beam, beam with OSB web, wooden beam, wooden structures, beams with a openings.

## **Введение**

В современном строительстве всё чаще применяют несущие конструкции из дерева, например в качестве балок. Важным аспектом любого сооружения является технологические коммуникации, такие как, водопроводы, электропроводка, вентиляция и тому подобное. Часто возникает потребность в организации отверстий в несущих конструкциях для прокладывания коммуникаций. В современных российских нормах есть требования к размерам данных отверстий, отсутствуют указания по их организации в несущих конструкциях, расположении и влиянию на конструкцию. В зарубежных нормах [3] учитываю необходимость наличия отверстий под коммуникации и приводятся требования как к их размеру, так и к взаимному расположению при наличии больше одного отверстиях негативно влияют не несущую способность [7–9]. При этом влияние квадратного и круглого отверстия отличаются [10, 11].

Цели работы: Разработка расчёта усиления двутавровой деревянной балки и анализ ее НДС

Задачи исследования:

- 1) Разработать расчётную модель балки с усилением с помощью методов КЭ;
- 2) Определить зависимость НДС двутавровой балки от характеристик отверстия;
- 3) Сравнить НДС обычной и усиленной балки;
- 4) Определить факторы влияющие на несущую способность балки с усилением.

## **Гипотеза о цельности балки**

Одной из главных особенностей рассматриваемых балок это наличие стыка по длине в стенке. Связано это с производством данных балок, стык появляется в разных местах и сильно влияет на несущую способность балок [5, 6]. Было принято рассмотреть

расчётную модель без данного стыка, чтобы определить влияние на балку только отверстий, усилений и связанных параметров, без определения взаимного влияния отверстий и стыка друг на друга.

### Основные характеристики балки и усиления

В качестве основного образца будет использована модель КЭ деревянной двутавровой балки со стенкой из OSB и поясами из LVL.

Размеры сечения следующие: высота стенки составляет 250 мм, толщина – 9 мм; ширина поясов – 65 мм, высота – 40 мм; глубина заделки стенки в пояса – 12 мм. Длина балка – 3 метра.

Характеристики LVL:

- Удельный вес: 0,56 т/м<sup>3</sup>;
- Коэффициент Пуассона: 0,45;
- Модуль упругости: 12 ГПа (по таблице В.2а [1]);
- Несущие характеристики по таблице 7 [1]: расчётное сопротивление при изгибе в плоскости листа  $R^A = 39$  МПа, сжатие в плоскости листа вдоль волокон  $R^A = 32$  МПа, растяжение вдоль волокон

$R^A = 31$  МПа, скальвание вдоль волокон в плоскости листа

$R^A = 3,2$  МПа.

Характеристики OSB:

- Удельный вес: 0,6 т/м<sup>3</sup>;
- Коэффициент Пуассона: 0,45;
- Модуль упругости: 3,6 ГПа (по таблице В.7 [1]);
- Несущие характеристики по таблице В.6 [1]: расчётное сопротивление при изгибе из плоскости листа  $R^A = 23$  МПа, сжатие в плоскости листа вдоль главной оси  $R^A = 10$  МПа, растяжение в плоскости листа  $R^A = 9$  МПа, сдвиг в плоскости листа  $R^A = 4,4$  МПа. Согласно пунктам 6.3 и 6.8а [1] расчётное сопротивление LVL и ОСП определяется по формуле:

$$R^p = R^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot \prod m_i$$

$m_{\text{дл}}$	$m_B$	$m_T$	$m_{\delta}$	$m_O$	$m_a$	$m_{\text{СМ}}$	$m_{\text{с.с.}}$
1	1	1	1	1	1	1	1

Критерии разрушения балки были приняты следующие: для I ПГС это достижение балкой прогиба равному критическому, для данного случая это 18 мм; для II ПГС – это достижение в расчётной модели балки напряжений равных расчётному сопротивлению.

В качестве накладок для усиления применяются накладки из ОСП, которые крепятся стальными нагелями к поясам балки. Диаметр принимаем 8 мм, шаг 300 мм. Согласно [2] и [3], коэффициент жёсткости  $k_{ser}$  в Н/мм определяется по формуле:

$$k_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot d / 23,$$

где  $\rho_m$  плотность материала в кг/м<sup>3</sup>. Если соединяется два разных материала, как в нашем случае, то  $\rho_m$  вычисляется по формуле  $\rho_m = \sqrt{\rho_{m1} \cdot \rho_{m2}}$ . Для OSB: 600 кг/м<sup>3</sup>, для LVL: 560 кг/м<sup>3</sup>, тогда  $\rho_m$  равняется 580 кг/м<sup>3</sup>;  $d$  – диаметр нагеля в мм, 8 мм.

В нашем случае:  $k_{ser} = 4859$  Н/мм.

### **Влияние формы и размеров отверстия на НДС балки**

В первом этапе рассмотрим 10 вариантов балки: без отверстия, с круглым отверстием трёх размеров, с квадратным отверстием трёх размеров и прямоугольным отверстием трёх размеров.

Согласно [4] распространённые и подходящие нам отверстия под коммуникации это Ø100 мм, 100×100 мм и 100×200 мм. Кроме того, под электропроводку нужны отверстия размером 2 см. С учётом всего этого принимаемые размеры приведены в таблице 1:

*Таблица 1*

#### **Размеры отверстий**

№	○	□	□
I		0	
II	Ø20	20×20	20×40
III	Ø50	50×50	50×100
IV	Ø100	100×100	100×200

В программном комплексе SCAD Office были разработаны 10 расчётных моделей. Им была присвоена жёсткость в соответствии с материалами балки, как показано на рис. 1. Были установлены опоры на расстоянии 150 мм от краёв балки, также для предотвращения потери устойчивости было добавлено закрепление балки из плоскости. Закрепления показаны на рис. 2. Нагрузка была задана распределённой, измерялась в Т/м.



Рис. 1. Принимаемая жёсткость

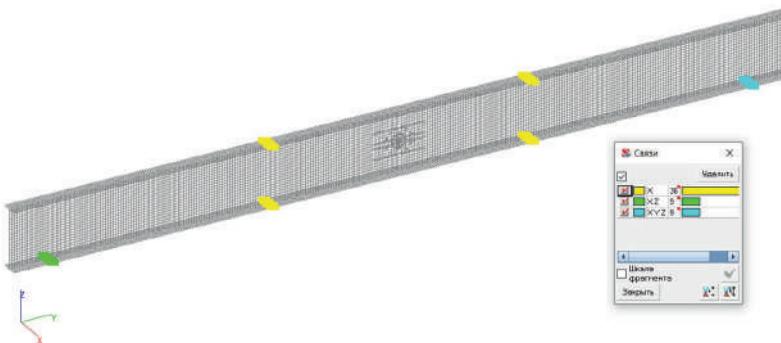


Рис. 2. Закрепление схемы

График зависимости НДС от формы и размеров отверстия представлен на рис. 3–6.

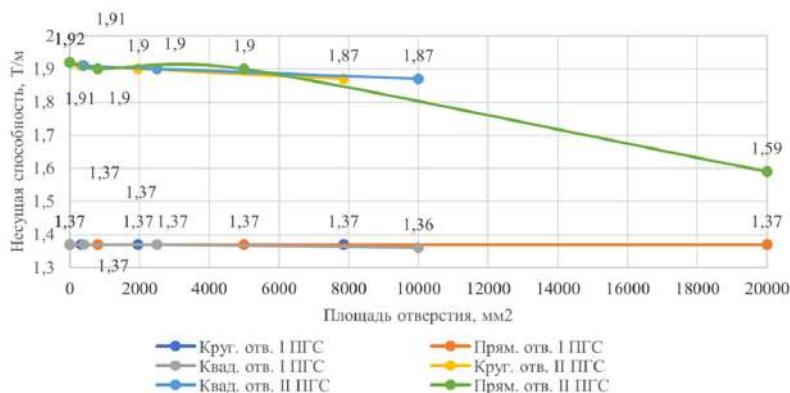


Рис. 3. График несущей способности от площади отверстия

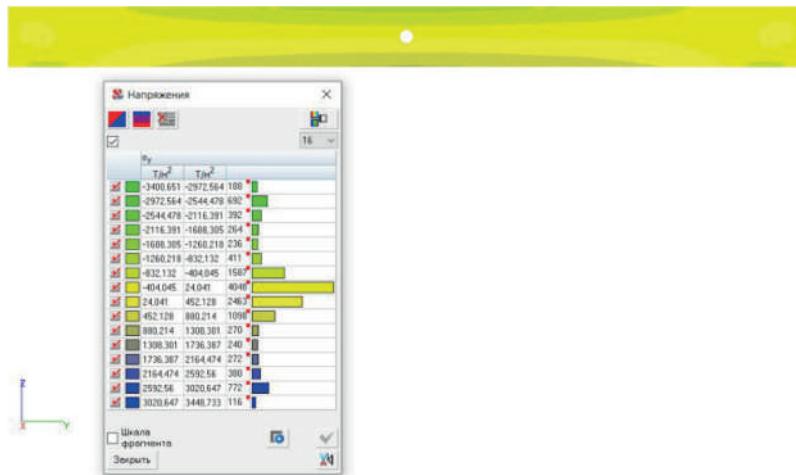




Рис. 5. Пример прогиба балки

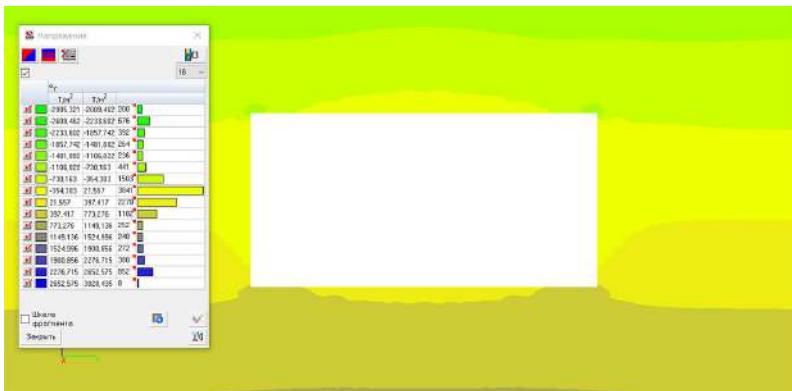


Рис. 6. Пример распределения напряжений близ отверстия

На основе графика мы можем сделать следующие выводы:

- 1) Отверстия почти не влияют на прогибы;
- 2) Несущая способность балки с квадратным и круглым отверстиями при сравнительно близких площадях отверстия, одинаковая;
- 3) Несущая способность при увеличении отверстия снижается. В прямоугольных отверстиях при увеличении площади с 5000 мм<sup>2</sup> до 20 000 мм<sup>2</sup>, снижение несущей способности составило 16 %.
- 4) Острые углы квадратных и прямоугольных отверстий являются концентратами напряжений.

### Усиление двутавровой балки

Выберем прямоугольное отверстие для дальнейших сравнений. В качестве накладок выберем листы OSB, толщиной 6 мм, длиной 300 мм. Так как отверстия предназначены для прохода коммуникации, в накладках тоже должны быть отверстия. Расчётная схема представлена на рис. 7.

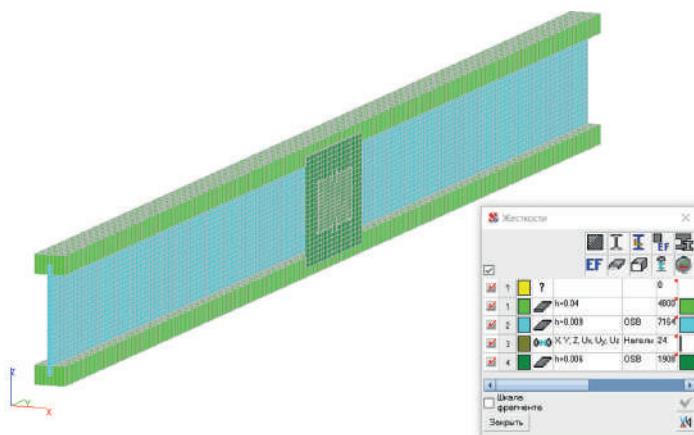


Рис. 7. Схема усиления

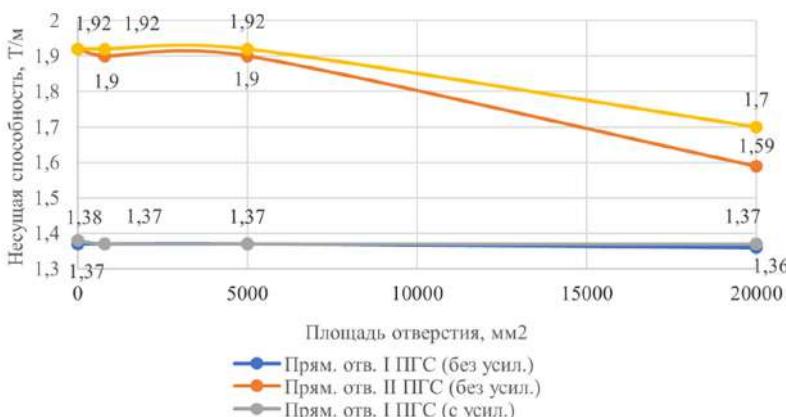


Рис. 8. График несущей способности от площади отверстия

Графики сравнения НДС с усилением и без представлен на рис. 8–10:

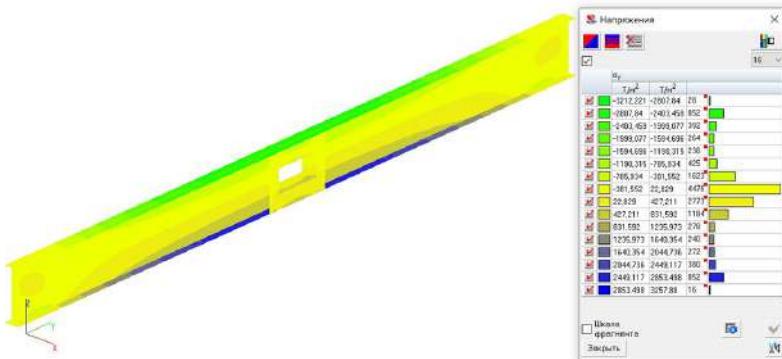


Рис. 9. Пример распределения напряжений по балке с усилением

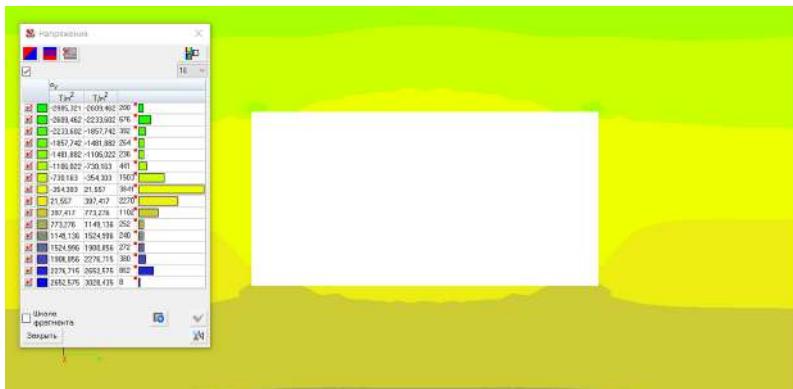


Рис. 10. Пример напряжения на участке с отверстием при усилении накладками

Из графиков видно:

1) При маленьких отверстиях повышение несущей способности незначительное. Это связано с тем, что малые отверстия незначительно влияют на несущую способность;

- 2) Усиление почти не оказывает влияние на прогибы;
- 3) При большом отверстие усиление даёт видимый рост несущей способности в 7 %.

### Дополнительные зависимости.

#### Влияние расположения отверстия.

Для рассмотрения возьмём так же прямоугольные отверстия. Перенесём отверстия на 43 мм выше. Графики для сравнения приведены на рис. 11.

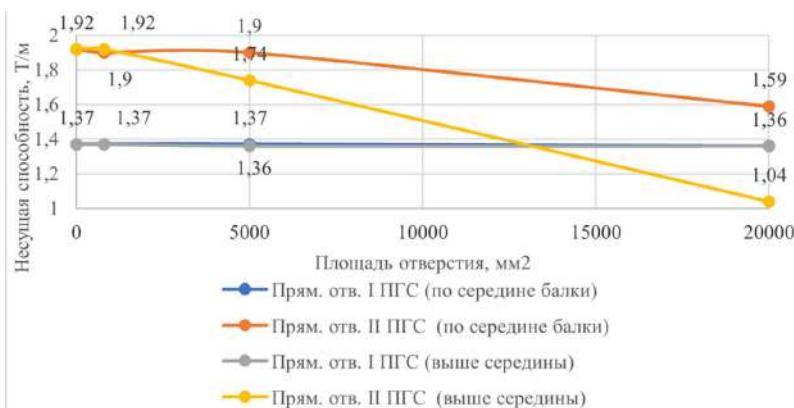


Рис. 11. График несущей способности от площади отверстия

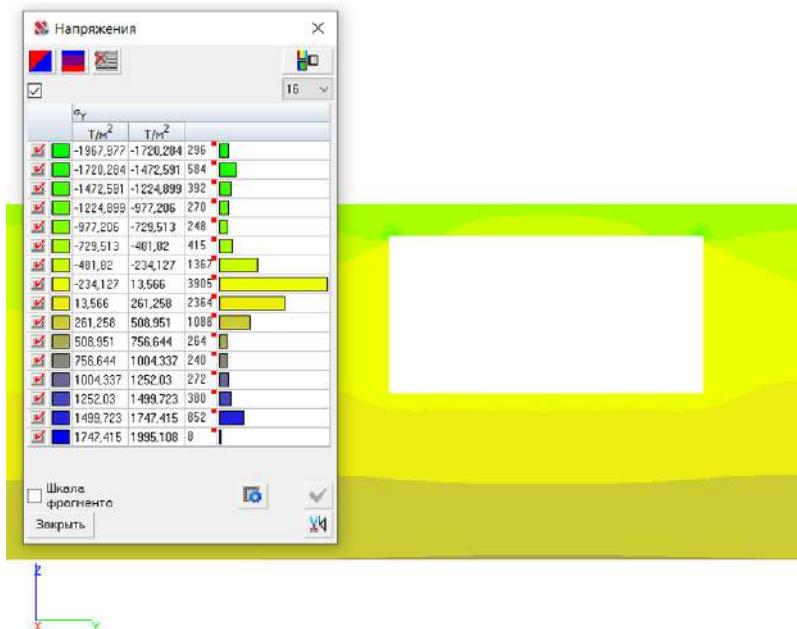


Рис. 12. Пример распределения напряжений на участке с отверстием при переносе отверстия вверх

Мы видим, что расположение отверстия негативно влияет на несущую способность и почти не влияет на прогибы.

Если перенести отверстие  $100 \times 200$  мм по высоте ближе к сжатой зоне, несущая способность падает до  $1,04$  Т/м или на  $35\%$ .

### Влияние расположения относительно опоры

Для рассмотрения возьмём прямоугольные отверстия  $100 \times 200$  мм. Перенесём отверстие горизонтально ближе к опоре. Графики для сравнения приведены на рис. 13.

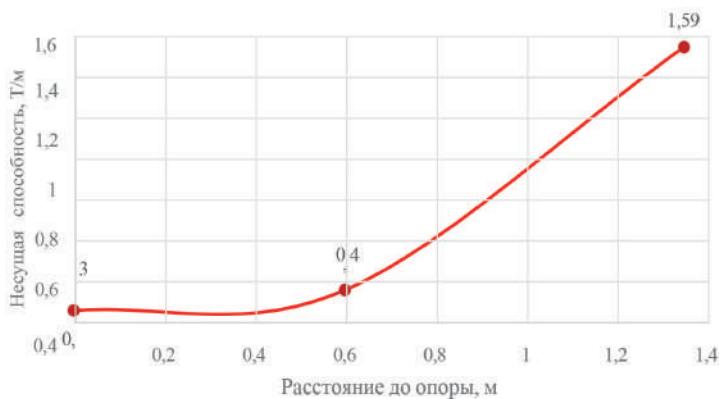


Рис. 13. График несущей способности от расстояния до опоры

Близкое расположение отверстия к опоре снижает несущую способность на 81 %.

### Влияние толщины усиления.

На рисунке 14 представлен график зависимости несущей способности от толщины накладки.

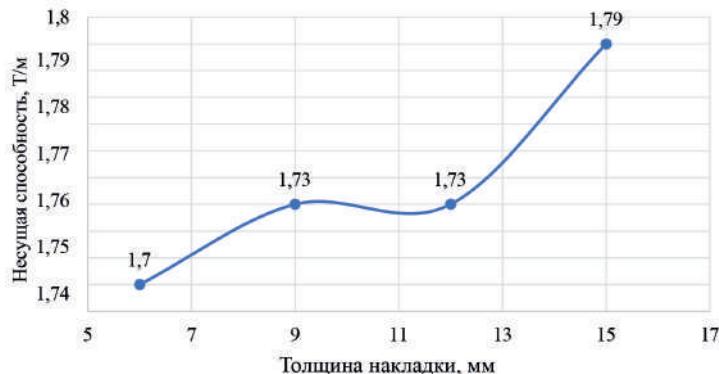


Рис. 14. График зависимости несущей способности от толщины накладки

Видно, что при увеличении толщины, растёт и несущая способность. Рост составил примерно 5 %.

### **Влияние длины усиления**

На рис. 15 представлен график зависимости несущей способности от длины накладки.

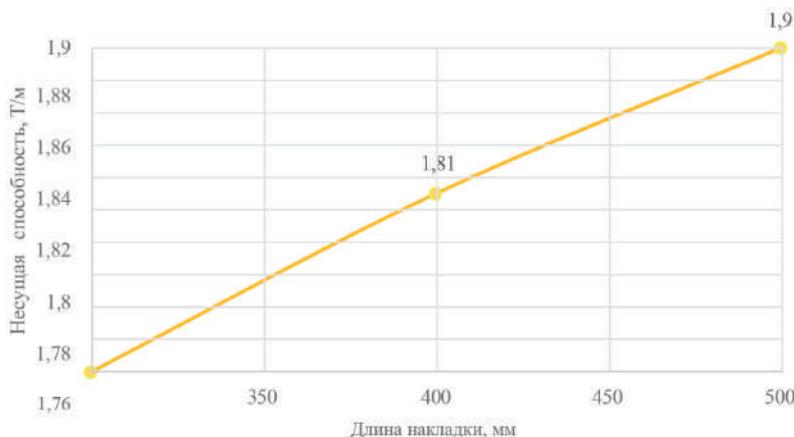


Рис. 15. График зависимости несущей способности от длины накладки

Можно сделать вывод, что каждые 100 мм длины накладки, несущая способность увеличивается на 5–6 %.

### **Влияние материала накладки:**

Предположим, что вместо накладки из OSB используем накладку из фанеры. Её свойства приведены на рисунке 16. Коэффициент Пуассона и модуль упругости взяты из таблицы В.5 СП64.13330.2017.

<b>Материал</b>	
Другие...	
Объемный вес	0,75 <span>T/m<sup>3</sup></span>
<b>Параметры</b>	
Модуль упругости	917431,193 <span>T/m<sup>2</sup></span>
Коэффициент Пуассона	0,085
Коэф. линейного расширения	0,1 <span>1/°C</span>
Толщина пластин	0,006 <span>m</span>
Параметр затухания (волях от критического)	0 <span></span>
<b>Коэффициенты редукции</b>	
Имя типа жесткости	Фанера <span></span>

Рис. 16. Параметры жёсткости в ПК Scad Office для фанеры

Кроме того, материал влияет и на параметр  $k_{ser}$ . Для соединения LVL и фанеры он равен 5738 Н/мм.

Сравнение проводили также на балке с прямоугольным отверстием 100×200 мм. Несущая способность с усилением OSB-накладками составляет 1,7 Т/м, при замене OSB на фанеру несущая способность повышается до 1,8 Т/м, то есть на 6 %.

### Влияние шага нагелей

Увеличив шаг нагелей с 5 см до 8 см, несущая способность слегка уменьшилась с 1,7 Т/м до 1,68 Т/м, или на 1 %.

## Другие варианты усиления. Две накладки

Рассмотрим вариант, где вместо одной накладки с отверстием крепят две прямоугольные цельные накладки по бокам от отверстия. Их крепят также к поясам балки. Схема представлена на рис. 17.

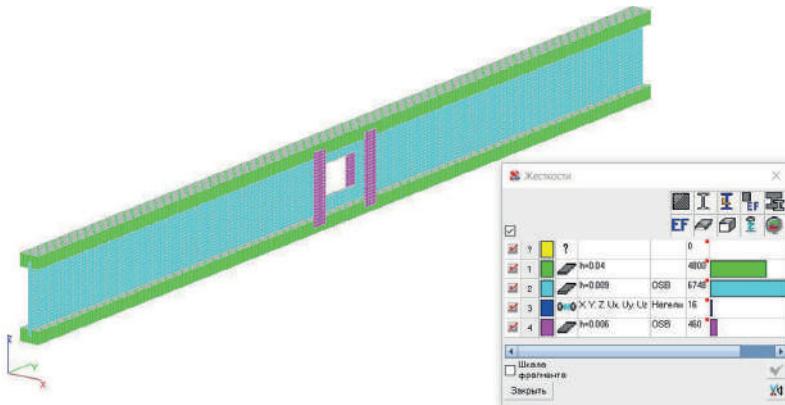


Рис. 17. Расчётная схема

Несущая способность балки с таким усилением составляет 1,64 Т/м, что на 4 % меньше, чем при одной цельной накладки с отверстием.

Размеры накладок: 5×22,6 см, по сравнению с одной накладкой 22,6×30 см.

Экономия материала составляет почти 53 %.

## Две полунакладки

Предполагается, что накладка цельная и монтируется к балке до прокладывания коммуникаций, но если рассмотреть вариант с усилением уже существующей балки с отверстием под коммуникации, то тогда необходимо воспользоваться полунакладками, так как смонтировать цельную не представляется возможным.

Рассмотрим схему с полунакладками. Размерами они повторяют цельную накладку, но по середине есть разрез, толщиной 2 мм (рис. 18 и 19).

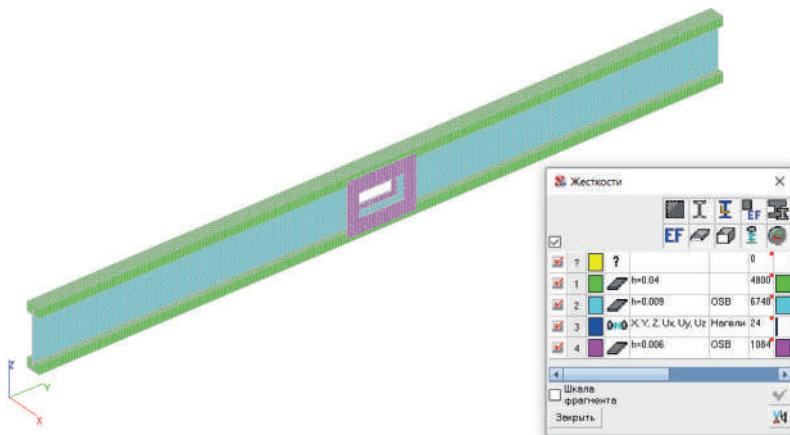


Рис. 18. Схема с полунакладками

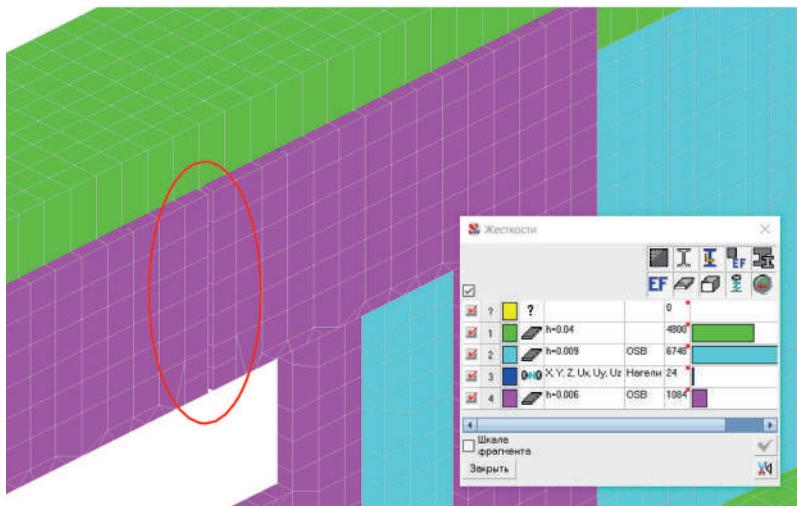


Рис. 19. Разрез вблизи

## Проверка накладки на прочность

Возьмём накладку с отверстием  $100 \times 200$  мм и проверим её на прочность. Предельное состояние наступает по касательным напряжениям. На рисунке 20 представлено распределение напряжений по накладке. Разрушающая нагрузка составляет  $2,23$  Т/м, что больше, чем разрушающая нагрузка самой балки, значит накладка не разрушается раньше самой конструкции.

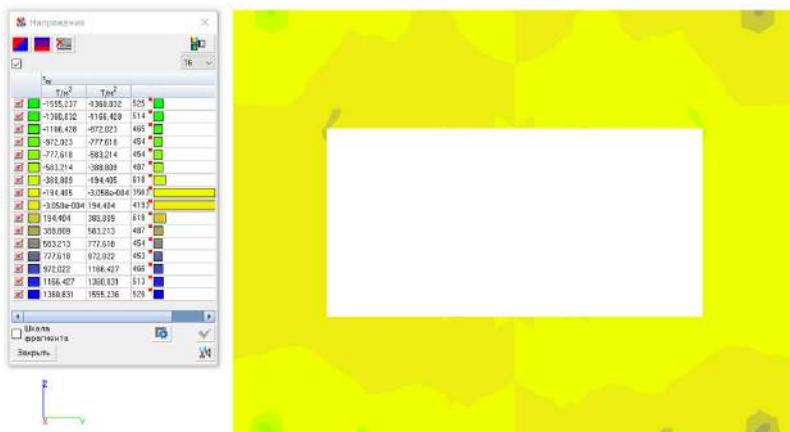


Рис. 20. Распределение касательных напряжений в накладке

## Влияние радиуса скругления углов отверстия

Углы отверстия являются концентратами напряжений. Для избавления от этого углы можно скруглить (рис. 21). Возьмём 4 варианта: без закругления, с радиусом 6 мм, 2,5 см и 4,5 см и сравним их. График приведён на рис. 22. По неизвестным причинам закругление в 6 мм уменьшает несущую способность (рис. 23). Возможно, проблема в расчётомном комплексе. При радиусе 4,5 см разрушение наступает уже не у отверстия. Несущая способность балки с отверстиями со скруглением углов по сравнению с отверстиями без него возрастает на 19 %.

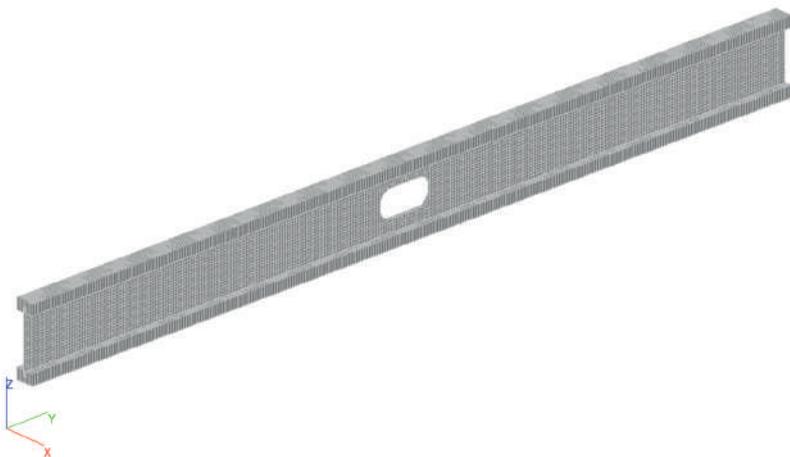


Рис. 21. Расчётная схема с радиусом закругления 4,5 см

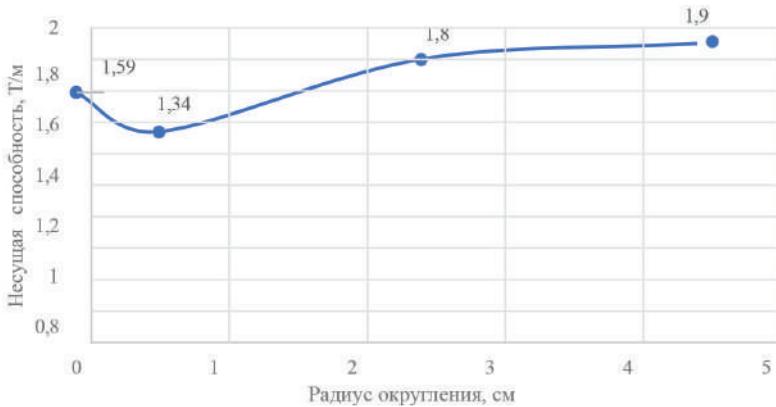


Рис. 22. График зависимости несущей способности от радиуса закругления



Рис. 23. Распределение напряжений при закруглении в 6 мм

### Заключение

Была разработана расчётные модели составной двутавровой деревянной балки с различными отверстиями, а также с усилениями в программном комплексе Scad Office. Проанализировав их НДС, можно сделать следующие выводы:

1) Отверстия не влияют на прогибы балки, но при увлечении площади отверстия происходит снижение несущей способности вплоть на 16 %. При переноси отверстия по высоте снижение прочности может достигать 35 %. Наличие отверстия близ опоры уменьшает несущую способность на 81 %. Скругление углов отверстия позволяет повысить несущую способность на 19 % по сравнению с прямоугольными отверстиями.

2) Усиление почти не влияет на несущую способность (в районе 1 %), при больших отверстиях повышение составляет 7 %.

### Литература

1. Минстрой России. СП 64.13330.2017: Свод правил «Проектирование деревянных конструкций». Москва : Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2017. 64 с.
2. European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 90 р.
3. Национальный стандарт Республики Беларусь. Праектаванне драўляных канструкцый. Минск : Издательство стандартов, 2023. 56 с.
4. СП 73.13330.2016 «СНиП 3.05.01-85. Внутренние санитарно-технические системы зданий» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30.09.2016 № 689/пр).
5. Торопцева А. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния составной двутавровой балки со стенкой из ОСП / А. Н. Торопцева, М. Ю. Томченко // Серия «Строительство» : Сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. Том 1. Выпуск 6. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 203–214. – EDN SHAKTO.
6. Томченко М. Ю. Экспериментальное исследование составных балок двутаврового сечения из древесины с ОСП-стенкой на изгиб / М. Ю. Томченко, А. Н. Торопцева, Д. В. Нижегородцев // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 366–369. – EDN YCISJZ.
7. Wang A., Cheng J. J. R. Shear behaviour of OSB wood composite I-beams with web opening Rep. Submitted to Edmonton, Alberta, Canada : Canadian Forest Service, Dept. of Civil Engineering; 1995.
8. Leichti R. J., Falk R. H., Laufenberg T. Prefabricated wood composite I-beams: a literature review. Wood Fiber Sci 1990;22(1990):62–79.
9. Zhu E. C., Guan Z. W., Rodd P. D., Pope D. J. Finite element modelling of OSB webbed timber I-beams with interactions between openings. Adv Eng Softw 2005;36(11–12):797–805.
10. Afzal M. T., Lai S., Chui Y. H., Pirzada G. Experimental evaluation of wood I-joists with web holes. For Prod J 2006;56(10):26.
11. Guan Z. W., Zhu E. C. Non-linear F. E. modelling of crack behaviour of openings in OSB webbed I-beams. ASCE J Struct Eng 2004;130(10):1562–9.

**УДК 624.046.5**

*Олег Евгеньевич Копейкин,*

аспирант

(Вологодский государственный  
университет)

*E-mail: kopeykinoe@vogu35.ru*

*Oleg Evgenyevich Kopeykin,*

postgraduate student

(Vologda State  
University)

*E-mail: kopeykinoe@vogu35.ru*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ  
ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
НА ЗАДАННЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ  
НА ПРИМЕРЕ СТАЛЬНОЙ ФЕРМЫ**

**STUDY OF THE APPLICABILITY OF THE  
PROBABILISTIC METHOD OF CALCULATING  
BUILDING STRUCTURES FOR A GIVEN SERVICE LIFE  
ON THE EXAMPLE OF A STEEL TRUSS**

Рассматривается применение полных вероятностных методов обоснования и оценки уровня надежности строительных конструкций, как логичный этап эволюции текущих подходов, которые называют полувероятностными или детерминистическими. Полные вероятностные методы позволяют получить количественную оценку надежности строительных конструкций в виде вероятности отказа. Данный подход делает возможным сравнение безопасности эксплуатации различных видов строительных конструкций из различных материалов.

*Ключевые слова:* вероятностное проектирование, надежность, ферма, долговечность, безопасность, вероятность отказа, случайные параметры.

The use of full probabilistic methods for substantiation and assessment of the reliability level of building structures is considered as a logical stage in the evolution of current approaches, which are called semi-probabilistic or deterministic. Full probabilistic methods allow obtaining a quantitative assessment of the reliability of building structures in the form of the probability of failure. This approach makes it possible to compare the safety of operation of various types of building structures made of various materials.

*Keywords:* probabilistic design, reliability, truss, durability, safety, failure probability, random parameters.

Анализ причин аварий конструкций покрытия показывает, что некоторая доля обрушений вызвана превышением нагрузок и ошибками при проектировании [1]. Это связано с тем, что традиционные методы расчета хоть и учитывают стохастическую природу нагрузок и свойств материалов через введение коэффициентов надежности, но не выражают количественно уровень надежности и не позволяют анализировать ее динамику со временем эксплуатации. Вероятностные методы рассматривают необходимые для расчета параметры как случайные величины с известным распределением, что является более объективным при расчете.

В настоящее время в качестве нормативного метода расчета принят метод предельных состояний, являющийся наиболее распространенным методом расчета в строительной механике. Недостатком метода является отсутствие возможности сравнить конструкции между собой по уровню надежности, поскольку отсутствует количественная оценка.

Вероятностные методы позволяют учитывать неопределенности параметров, определяющих эксплуатационную надежность конструкции на основе статистического анализа данных, оценить вероятность безотказной работы конструкции при различных условиях.

Термин надежность, в математической формулировке, представляет собой вероятность наличия у несущего элемента строительной конструкции резерва несущей способности  $g$  по заданному критерию предельного состояния:

$$P_S = \Pr(g > 0), \quad (1)$$

где  $g$  – функция резерва несущей способности, которую можно выразить как  $g = R - S$ , где  $R$  – обобщенная несущая способность элемента,  $S$  – обобщенная нагрузка на элемент.

Надежность может быть выражена через индекс надежности  $\beta$ :

$$\beta = \frac{m_g}{s_g} \quad (2)$$

где  $m_g$  – математическое ожидание резерва несущей способности;  $s_g$  – среднеквадратическое отклонение резерва несущей способности.

Eurocode 0 “Basis of structural design” определяет целевые индексы надежности  $\beta$ , которые приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Рекомендуемые минимальные значения  $\beta$  по Eurocode 0

Класс надежности	Минимальные значения для $\beta$	
	Годовой базовый период	50-летний базовый период
RC3	5,2 ( $>0,99999$ )	4,3 (0,99998)
RC2	4,7 (0,99999)	3,8 (0,99993)
RC1	4,2 (0,99998)	3,3 (0,99950)

*Примечание.* В скобках указаны соответствующие значения вероятности безотказной работы волях.

Для оценки надежности конструктивных элементов (например, ферм) наиболее эффективен метод Монте-Карло, преимуществами которого являются использование упрощенных моделей отказов, работа с ограниченным набором случайных переменных и простая интеграция в распространенные вычислительные программы.

Применительно к стальным фермам условие обеспечения запаса несущей способности при проверке по критерию прочности по пределу текучести стали может быть выражено в виде:

$$g = \sigma_y \cdot A - \sum_{i=1}^n N_i (P_i), \quad (3)$$

где  $\sigma_y$  – предел текучести стали;  $A$  – площадь поперечного сечения стержня фермы;  $\sum_{i=1}^n N_i (P_i)$  – продольное усилие в стержне фермы как сумма продольных усилий от различных узловых нагрузок  $P_i$ .

Параметры, представленные в (3), фактически являются случайными величинами. В вероятностных методах расчета строительных конструкций случайные величины принято обозначать волнистой линией. Поскольку геометрические параметры сечения ( $t, h, b$ ) являются случайными, площадь сечения стержня фермы также представляет собой случайную величину. Это преобразует запас несущей

способности (3) в случайную переменную, а надежность конструкции количественно выражается как вероятность его положительного значения при различных реализациях случайных параметров:

$$P_s = \Pr \left[ \left( \tilde{g} = \tilde{\sigma}_y \cdot A(\tilde{t}, \tilde{h}, \tilde{b}) - \sum_{i=1}^n N_i(\tilde{P}_i) \right) > 0 \right], \quad (4)$$

Аналогично можно записать условие предельного состояния для сжатых стержней фермы по критерию устойчивости [12]:

$$\tilde{g} = \tilde{\sigma}_y \cdot A(\tilde{t}, \tilde{h}, \tilde{b}) \cdot \left( 1,003 - 0,034 \cdot \tilde{\lambda}^2 \cdot \frac{\tilde{\sigma}_y}{\tilde{E}} \right) - \sum_{i=1}^n N_i(\tilde{P}_i), \quad (5)$$

где  $\tilde{\lambda}$  – гибкость стержня фермы;  $\tilde{E}$  – модуль упругости стержня фермы.

Вероятность отказа на основе классического метода Монте-Карло определяется как:

$$P_f \approx \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I[g(X_j) \leq 0], \quad (6)$$

где  $I[\cdot]$  – это функция индикатора, имеющая значение 1, если  $I[\cdot]$  равно «истина», и значение 0, если  $I[\cdot]$  равно «ложь»;  $N$  – число генераций случайных величин;  $X_j$  – вектор случайных величин функции предельного состояния  $g$ .

Рассмотрим вероятностный анализ надежности на примере стальной фермы «Молодечно» пролетом 18 метров (рис. 1).

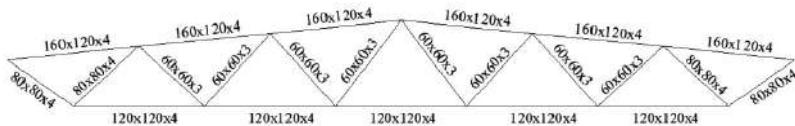


Рис. 1. Размеры поперечных сечений стержней фермы

Вероятностный анализ надежности ферм базируется на численном моделировании случайных параметров методом Монте-Карло. Реализация данного подхода требует предварительного задания статистических характеристик случайных величин (табл. 2),

используемых при генерации исходных данных для последующего анализа.

Таблица 2

**Параметры случайных величин**

Случайная величина	Распределение вероятностей	Параметры
Узловая нагрузка от веса конструкции покрытия	Нормальное	$m_{P,1} = 5\alpha = 35,5$ кг; $S_{P,1} = 27,18$ кг; $\nu_{P,1} = 0,05$
Узловая нагрузка от веса прогонов	Равномерное	$P_2 \in [187,31; 264,74]$ кг
Нагрузка от веса снегового покрова	Гумбеля	$86,9$ кг/м <sup>2</sup> , $\beta = 28,5$ кг/м <sup>2</sup>
Прочность стали по пределу текучести	Нормальное	$m_y = 261,44$ МПа, $S_y = 13,07$ МПа, $\nu_y = 0,05$
Площади поперечных сечений стержней	Равномерное	В пределах допусков по ГОСТ 30245–2012

Исходные данные для вероятностного моделирования включают нормативные значения геометрических размеров сечений и их допустимые отклонения в соответствии с сортаментами, фактические характеристики стали, полученные в ходе сертификационных испытаний предприятия-изготовителя, а также статистически обработанные данные метеонаблюдений за годичными максимумами запаса воды в снеге, зарегистрированные метеорологическими станциями.

Методом Монте-Карло выполнено 1 000 000 итераций расчетов в программной среде MathCAD на основе моделей предельного состояния для растянутых (4) и сжатых (5) стержней с использованием параметров случайных величин из табл. 2. Надежность элементов измерялась вероятностью отказа по (6), полученные результаты вероятностной оценки представлены на рис. 2.

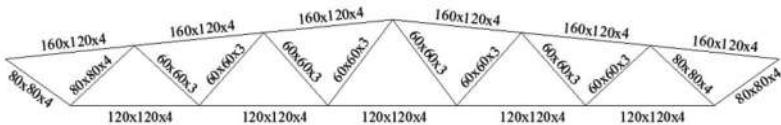


Рис. 2. Вероятность безотказной работы стержней стальной фермы

Отказ элемента в статически определимой конструкции приводит к отказу всей системы, такая система называется последовательной. С позиции теории надежности и теории вероятностей, надежность такой системы определяется как произведение вероятностей безотказной работы всех ее элементов, что математически выражается как:

$$Ps = \prod_{i=1}^n P_{s,i} \quad (7)$$

где  $P_{s,i}$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента системы;  $n$  – число элементов в системе.

Рассчитанная по формуле (7) надежность фермы как последовательной системы составляет  $P_s = 0,99984$ . Данный подход предполагает статистическую независимость отказов отдельных элементов при едином сценарии приложения нагрузки, что занижает общую оценку надежности системы и является ее недостатком.

Для повышения точности оценки надежности предлагается рассматривать группы отказов элементов, возникающие в одной генерации, как единое событие отказа. В этом случае показатель надежности системы определяется как отношение количества групп генераций без отказов к общему количеству моделируемых случаев. Надежность фермы как единой системы составит  $P_s = 0,99993$ , что будет более объективной оценкой уровня безопасности.

Анализ свойств стали новых и длительно эксплуатируемых строительных конструкций говорит о том, что с течением времени коэффициент вариации предела текучести стали возрастает [2].

Для прогнозирования динамики уровня надежности фермы предлагается установить зависимость между математическим ожиданием прочности стали и коэффициентом вариации стали. На основе

сгенерированных данных за отчетные периоды можно проследить изменение уровня надежности фермы с течением времени (рис. 3).

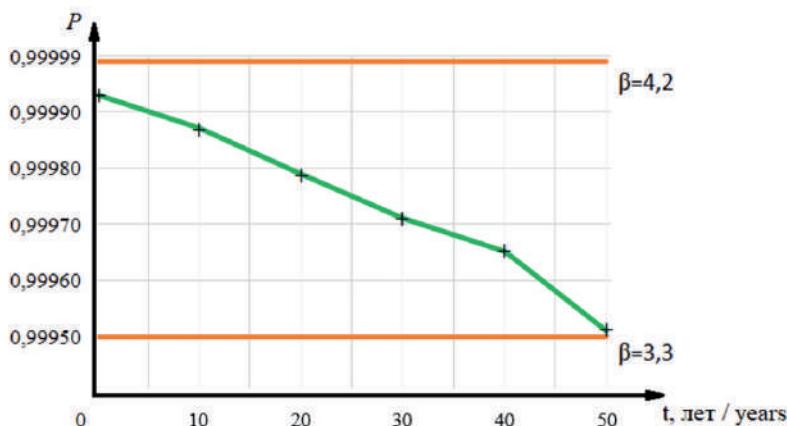


Рис. 3. Прогноз снижения уровня надежности стальной фермы

Следует отметить, что при рассмотрении длительных временных интервалов существенно возрастает вероятность проявления экстремальных значений снеговой нагрузки, снижающая вероятность безотказной работы конструкции.

### Заключение

Предложенный подход к вероятностному проектированию позволяет выразить количественно уровень надежности стальной фермы, а также спрогнозировать его изменение со временем.

Использование вероятностных методов проектирования и анализа надежности строительных конструкций позволяет более детально исследовать безопасность эксплуатации зданий и сооружений.

Использование прямых статистических данных о нагрузках и о показателях несущей способности элементов позволяет выполнить технико-экономическое сравнение конструкционных вариантов и оптимизацию технического решения с учетом фактора надежности.

### **Литература**

1. *Перельмутер А. В.* Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – Москва : АСВ, 2007. – 254 с.
2. *Вернези Н. Л.* Коэффициент вариации предела текучести металла новых и долгое время эксплуатировавшихся строительных конструкций // Безопасность техногенных и природных систем. 2023. № 3. С. 44–54.
3. *Золина Т. В., Садчиков П. Н.* Моделирование снеговой нагрузки на покрытие промышленного здания // Вестник МГСУ. 2016. №. 8. С. 25–33.
4. *Melchers R. E., Beck A. T.* Structural reliability analysis and prediction. Wiley, 2018. 528 р.
5. *Соловьева А. А., Соловьев С. А.* Вероятностный анализ надежности ферм статистическим генерированием данных // Строительная механика и расчет сооружений. 2023. № 5(310). С. 2–11. DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.2.11.

## **СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ**

**УДК 621.643**

*Людмила Сергеевна Арtyухова,  
ассистент*

*Ирина Анатольевна Чернышкова,  
доцент*

*(Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платова)*

*E-mail: neponyatnaya93@mail.ru,  
chernyshkova.irina@mail.ru*

*Lyudmila Sergeevna Artyukhova,  
assistant lecturer*

*Irina Anatolyevna Chernyshkova,  
Associate Professor*

*(M. I. Platov South-Russian  
State Polytechnic  
University)*

*E-mail: neponyatnaya93@mail.ru,  
chernyshkova.irina@mail.ru*

### **ПРИМЕНЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРУБОПРОВОДОВ**

**THE USE OF INORGANIC COATINGS  
IN THE CONSTRUCTION AND DESIGN OF PIPELINES**

Строительство и эксплуатация трубопроводов, особенно магистральных, сопровождаются воздействием агрессивных сред, коррозией и механическими повреждениями. Выбор материалов для защиты трубопроводов от коррозии и механических повреждений является критическим фактором, определяющим их долговечность и безопасность эксплуатации. Неорганические покрытия, благодаря своим уникальным свойствам, занимают все более важное место в этой области. Они предлагают высокую химическую и термическую стойкость, механическую прочность и, зачастую, экономическую эффективность. В статье рассмотрены основные недостатки и преимущества использования неорганических покрытий для трубопроводов, их типы, применение, классификация, способы нанесения. В заключении подчеркивается значимость развития и применения новых композиционных материалов с улучшенными свойствами, а также с совершенствованием технологий нанесения покрытий.

*Ключевые слова:* неорганические покрытия, строительство, проектирование, трубопровод, системы водоснабжения.

The construction and operation of pipelines, especially main pipelines, are accompanied by exposure to aggressive media, corrosion and mechanical damage. The choice of materials to protect pipelines from corrosion and mechanical damage is a critical factor determining their durability and operational safety. Non-organic coatings, due to their unique properties, occupy an increasingly important place in this field. They offer high chemical and thermal resistance, mechanical strength and, often, economic efficiency. This article will consider the main disadvantages and advantages of using inorganic coatings for pipelines, their types, application, classification, and application methods. In conclusion, the importance of the development and application of new composite materials with improved properties, as well as with the improvement of coating technologies, is emphasized.

*Keywords:* inorganic coatings, construction, design, pipeline, water supply systems.

Неорганические покрытия играют важную роль в современном строительстве и проектировании, обеспечивая надежную защиту и повышение долговечности строительных конструкций. Выбор конкретного типа покрытия зависит от условий эксплуатации, требований к прочности, долговечности, декоративным свойствам и экологической безопасности.

Защита трубопроводов от коррозии и механических повреждений является критическим аспектом обеспечения их долговечности и безопасной эксплуатации. Традиционные методы защиты, такие как использование защитных покрытий на основе органических полимеров, имеют свои ограничения, связанные с термической и химической стойкостью, а также уязвимостью к ультрафиолетовому излучению и биологическому воздействию. В связи с этим, все большее внимание уделяется применению неорганических покрытий, которые обладают рядом преимуществ перед органическими аналогами.

Неорганические покрытия для трубопроводов представляют собой класс материалов, основанных на минеральных соединениях, таких как цементы, силикаты, оксиды металлов и керамика. Эти покрытия характеризуются высокой химической и термической стойкостью, прочностью, долговечностью и, зачастую, более низкой стоимостью по сравнению с некоторыми высокотехнологичными органическими покрытиями. Они обеспечивают эффективную

защиту от коррозии, механических повреждений и агрессивного воздействия окружающей среды.

К основным преимуществам неорганических покрытий можно отнести: высокую химическую и термическую стойкость; механическую прочность и износостойкость; долговечность (неорганические покрытия обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и агрессивным средам, что обеспечивает длительный срок службы); экологическую безопасность (большинство неорганических покрытий не содержат вредных веществ и безопасны для окружающей среды.); доступность и экономичность (для некоторых типов).

Несмотря на ряд преимуществ неорганических покрытий, имеются и недостатки, к которым относится сложность нанесения некоторых типов покрытий (эмалированные покрытия); высокая стоимость некоторых типов покрытий (эмалированные, специальные композиции); необходимость тщательной подготовки поверхности трубы.

Для обеспечения надежной защиты трубопровода необходимо правильно подобрать покрытие, учитывая условия его эксплуатации. Это включает в себя анализ типа грунта, воздействие агрессивных сред, температурный режим, рабочее давление и другие параметры. Основные виды защитных покрытий:

Цементно-песчаные покрытия: наиболее распространенный и экономичный вариант. Смесь цемента, песка и воды, часто с добавлением модификаторов (полимеры, минеральные добавки) для улучшения свойств. Обеспечивают механическую защиту и некоторую степень защиты от коррозии, особенно в условиях сухого грунта (рис. 1).

Полимерцементные покрытия: сочетают преимущества цементных составов и полимеров, обладающих большей эластичностью и адгезией. Повышают стойкость к трещинообразованию и коррозии, особенно в агрессивных средах (рис. 2).



Рис. 1. Нанесение цементно-песчаного покрытия



Рис. 2. Нанесение полимерцементного покрытия

Эмалированные покрытия (стеклоэмаль): наносятся методом обжига специальной эмали на поверхности трубы. Образуют гладкую, химически стойкую и долговечную поверхность, снижающую гидравлическое сопротивление. Применяются для трубопроводов, транспортирующих питьевую воду и другие среды, требующие высокой чистоты (рис. 3).



Рис. 3. Нанесение эмалированного покрытия

Оксидные покрытия: создаются путем электрохимического или химического окисления поверхности металла (например, анодирование алюминия, цинкование стали). Обеспечивают высокую коррозионную стойкость, но могут быть менее устойчивы к механическим повреждениям (рис. 4).



Рис. 4. Нанесение оксидного покрытия

Произведем сравнение неорганических покрытий для дальнейшего выбора оптимального варианта (см. таблицу).

**Сравнительная таблица покрытий**

Тип покрытия	Стоимость	Прочность	Коррозийная стойкость	Эластичность	Гидравлическое сопротивление	Применение
цементно-песчаное	низкая	средняя	средняя	низкая	высокое	подземные трубопроводы (неагрессивная среда)
полимер-цементное	средняя	высокая	высокая	высокая	средняя	подземные и надземные трубопроводы
эмалированное	высокая	высокая	очень высокая	низкая	низкое	трубопроводы для питьевой воды, агрессивные среды
оксидное	средняя	средняя	высокая	низкая	среднее	защита от коррозии отдельных участков

В ходе сравнения эффективности неорганических покрытий было выявлено, что цементно-песчаные покрытия относительно недорогой и простой в нанесении вариант. Он применим для защиты от механических повреждений в неагрессивных грунтах, обладает низкой устойчивостью к коррозии, истиранию и температурным перепадам. Полимерцементные покрытия – это улучшенный вариант цементно-песчаного покрытия, за счет добавления полимеров. Обладает повышенной прочностью, эластичностью и устойчивостью к коррозии. Подходит для более широкого спектра условий эксплуатации. Эмалированные покрытия – обеспечивают наивысший уровень защиты от коррозии и химического воздействия. Имеют

гладкую поверхность, снижающую гидравлическое сопротивление. Дорогостоящий и сложный в нанесении вариант. Чувствителен к механическим повреждениям, особенно ударам. Оксидные покрытия – образуются на поверхности металла, обеспечивают отличную адгезию и защиту от коррозии. Устойчивы к температурным перепадам. Толщина слоя обычно небольшая, поэтому механическая защита ограничена [1–3].

### **Заключение**

Неорганические покрытия играют важную роль в современном строительстве и проектировании, обеспечивая надежную защиту и повышение долговечности строительных конструкций. Выбор конкретного типа покрытия зависит от условий эксплуатации, требований к прочности, долговечности, декоративным свойствам и экологической безопасности.

Для несложных условий эксплуатации подойдет цементно-песчаное покрытие. В более агрессивных средах или при необходимости повышенной надежности стоит выбрать полимерцементное или эмалированное покрытие. Оксидные покрытия чаще используются как дополнительный слой защиты или основа для других покрытий.

Использование неорганических покрытий в строительной отрасли и при проектировании зданий открывает широкие возможности для возведения долговечных, устойчивых и экологичных конструкций. Продолжающиеся научные изыскания и внедрение новых технологий в данной сфере дадут шанс создать более производительные и многофункциональные материалы.

### **Литература**

1. Швецов М. В., Калачев И. Ф. Совершенствование технологии покрытия стальных труб // Экспозиция Нефть Газ. 2014. № 5. С. 48–52.
2. Асталиухина А. С., Пикалов Е. С. Характеристика современных методов нанесения защитных цинковых покрытий // Успехи современного естествознания. 2015. № 11-1. С. 11–14.
3. Голдобина Л. А., Орлов П. С. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали к коррозии // Геоэкология и безопасность жизнедеятельности // Записки Горного института, 2016. Т. 219. С. 459–464.

**УДК 006.83**

Тамила Константиновна Варанкина,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: cool.tomych@mail.ru*

*Tamila Konstantinovna Varankina,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: cool.tomych@mail.ru*

## ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ НАНОИНДУСТРИИ

### THE CURRENT STATE OF THE REGULATORY FRAMEWORK IN THE CONSTRUCTION NANOINDUSTRY

В статье анализируется критическое отставание нормативной базы от стремительного внедрения нанотехнологий в строительной отрасли. Несмотря на массовое применение наномодифицированных материалов (нанобетон с углеродными нанотрубками, теплоизоляционные аэрогели, фотокаталитические покрытия) в реальных проектах, действующие в России ГОСТы, СП и ТР ЕАЭС либо не учитывают наноразмерные эффекты, либо подменяются техническими условиями производителей. Проведено сравнение с международным опытом регулирования (ЕС, США, Китай) и другими отраслями РФ (медицина, экология, электроника), выявлены ключевые пробелы: отсутствие специализированных ГОСТов, обязательной маркировки, реестра продукции и протоколов испытаний для наноматериалов. Автор доказывает, что существующий нормативный вакuum создает серьезные риски для безопасности, здоровья, экономики и правовой определенности, и предлагает конкретные меры для его преодоления, включая срочное обновление стандартов и создание национального реестра нанопродукции.

*Ключевые слова:* строительная наноиндустрия, нанотехнологии, нормативная база, стандартизация, наноматериалы, строительство, регулирование, ГОСТ, безопасность, технологический разрыв.

The article analyzes the critical lag of the regulatory framework behind the rapid adoption of nanotechnology in the construction industry. Despite the widespread use of nanomodified materials (nanoconcrete with carbon nanotubes, aerogel insulation, photocatalytic coatings) in real-world projects, current Russian GOSTs, SPs, and EAEU TRs either fail to account for nano-scale effects or are replaced by manufacturers' technical specifications. A comparison is made with international

regulatory experience (EU, USA, China) and other Russian sectors (medicine, ecology, electronics), revealing key gaps: the absence of specialized GOSTs, mandatory labeling, a product registry, and testing protocols for nanomaterials. The author argues that this regulatory vacuum poses significant risks to safety, health, economy, and legal certainty, and proposes concrete measures to address it, including urgent updates to standards and the creation of a national nanomaterial product registry.

*Keywords:* construction nanoindustry, nanotechnology, regulatory framework, standardization, nanomaterials, construction, regulation, GOST, safety, technological gap.

Мы живём в эпоху, когда нанотехнологии перестали быть футурристической концепцией и стали инструментом модернизации строительной отрасли. Нанотехнологии меняют строительную индустрию: делают материалы прочнее, здания «умнее», а процессы – эффективнее. Но парадокс в том, что они уже массово применяются, а нормативная база остаётся в зародышевом состоянии. В России более 200 строительных компаний используют наномодифицированные материалы, но менее 10 % из них проходят полноценную сертификацию [1].

Представьте: вы держите в руках лист бумаги толщиной 0,1 мм. Теперь мысленно разрежьте его на 100 тысяч тончайших слоёв – каждый из этих «срезов» будет размером около 1 нанометра. Это и есть мир, где работают нанотехнологии – масштаб, в котором привычные материалы начинают творить чудеса. На уровне 1–100 нанометров вещества ведут себя иначе, чем в «обычной» жизни. Здесь: золото становится красным, серебро превращается в невидимого убийцу бактерий, а углерод в форме нанотрубок – прочнее стали. Нанотехнологии вокруг нас: в одежде, в автомобилях и в еде. Но главное: нанотехнологии – это не просто «маленькие частицы». Это пересборка мира на атомном уровне. И строительство – следующая площадка для этой революции.

Строительная отрасль уже активно внедряет наноматериалы, но нормативное обеспечение не успевает за практикой. Например: нанобетон с углеродными нанотрубками – используется в мостах, но регулируется лишь устаревшим ГОСТ 26633–2015 [2] без учёта наномодификаторов, аэрогели применяют в теплоизоляции, их ко-

эффективность полезного действия в 2 раза выше, но их безопасность оценивают по СанПиН 2.1.2.2645-10, где нет норм для наночастиц, фотокаталитические покрытия – очищают фасады от загрязнений, но их экологичность проверяют по ГОСТ Р 58404–2019, который не учитывает эффекты от наноразмерных компонентов.

Существующие стандарты и их недостатки:

- ГОСТ ISO/TS 80004-1–2017 содержит базовую терминологию, но не включает методы испытаний для строительных материалов;
- СП 28.13330.2017 упоминает нанопокрытия, но не регламентирует их состав;
- ТР ЕАЭС 041/2017 затрагивает наночастицы, но не учитывает специфику строительных материалов и не содержит специальных требований к наномодификаторам.

Вывод: технологии уже работают, но нормативы либо устарели, либо подменяются техническими условиями производителей, что создаёт риски для безопасности.

Здесь мы подходим к ключевому вопросу: как разные страны регулируют эту сферу? Рассмотрим лучшие мировые практики [3] [4]:

Европейский Союз: REACH Regulation [5] – обязательная регистрация всех наноматериалов; специальная директива 2011/696/EС по определению наноматериалов; жёсткие ограничения – например, запретnano-TiO<sub>2</sub> в пищевых продуктах с 2022 года.

США: Программа NIOSH [6] по защите работников от наночастиц; требования EPA к экологической безопасности; система добровольной отчетности производителей.

Китай: Национальный стандарт GB/T 30544.4-2016 [7] по нанотехнологиям; особые экономические зоны для наноиндустрии; господдержка исследований в этой области.

В России нанотехнологии активно внедряются в медицине, электронике и экологии – и там же создана относительно чёткая нормативная база. Но в строительстве, несмотря на массовое применение, регулирование остаётся фрагментарным [8]. В табл. 1 приведено сравнение нормативной базы по отраслям.

**Сравнение нормативной базы по отраслям**

*Таблица I*

Критерий	Медицина	Электроника	Экология	Строительство
Основной ГОСТ/ стандарт	ГОСТ ISO/TS 80004-7– 2014 (нанокапсулы)	ГОСТ Р ИСО/TS 80004-8-2016 (графен)	ГОСТ Р 59418-2021 (nanoчастицы)	ГОСТ ISO/TS 80004- 1-2017
Обязательные испытания	20+ параметров (СанПин 2.1.3.2630-10)	ISO/IEC 2382-34:1999	15 параметров (ТР ЕАЭС 041/2017)	5–7 параметров (де-факто по ТУ)
Реестр продукции	Единый реестр Росздравнадзора	Реестр Минпромторга	Реестр Росприроднадзора	Отсутствует
Исследования безопасности	50+ методик (ГОСТ ISO 10993-22-2021)	IEEE 1650-2005 (натогрубки)	ГОСТ Р 59418-2021	Нет специализиро- ванных методик
Маркировка	Обязательна (ФЗ № 61 «Об обращении лекарств»)	Рекомендована (ГОСТ Р 58919-2020)	Обязательна (ТР ЕАЭС 041/2017)	Отсутствует

Почему же строительство отстает?

- Нет отраслевого регулятора;
- производители диктуют условия;
- нет экономических стимулов.

В табл. 2 приведено сравнение регулирования.

*Таблица 2*

**Сравнение регулирования в разных странах**

Критерий	ЕС	США	Россия
Обязательная регистрация	Да	Частично	Нет
Требования к испытаниям	50+ параметров	30 параметров	5–7 параметров
Надзор за производством	Жёсткий	Умеренный	Слабо развит
Ответственность производителя	Полная	Ограниченнaя	Минимальная

Последствия такого отставания:

1. Технологическая зависимость – мы вынуждены использовать зарубежные стандарты;
2. Риски для здоровья – неисследованное воздействие наночастиц [11];
3. Экономические потери – невозможность экспорта продукции [12];
4. Правовая неопределенность – судебные риски [13].

В табл. 3 приведено сравнение того, как регулируются нанотехнологии в иных областях и выявлены пробелы в строительстве.

Таблица 3

**Сравнение нормативов в иных областях со строительством**

Область	Медицина	Экология	Электроника
Действующий стандарт	ГОСТ ISO/TS 80004-7-2014 (нанокапсулы)	ГОСТ Р 59418–2021 (наночастицы в воде)	ГОСТ Р ISO/TS 80004-8-2016 (графен)
Проблемы в строительстве	Нет аналога для нанобетона	Нет норм для стройотходов	Нет стандартов для нанопокрытий

Причины отставания регулирования, несмотря на активное применение [9]:

- Производители опережают науку. Например, наносеребро в стройматериалах продаётся без ограничений, хотя в ЕС его применение регламентируется директивой 2011/696/EС.
- Испытания проводятся по «адаптированным» методикам. Например, нано-TiO<sub>2</sub> в красках проверяют по ГОСТу 31974–2013 для обычных пигментов, игнорируя нанориски [2].
- Нет обязательной маркировки. В отличие от ЕС, в России не требуется указывать наночастицы в составе [10].

### **Заключение**

Наноматериалы уже здесь: в бетоне, красках, стекле, утеплителях; но регулирование в 2000-х: большинство ГОСТов не учитывают наноспецифику, а новые документы носят рекомендательный характер.

Требуется срочно пересматривать ГОСТы [14], вводить обязательные испытания и создавать реестры нанопродукции [15]. Без этого строительная наноиндустрия будет развиваться стихийно – с рисками для людей и экологии.

### **Литература**

1. Росстат. Инновации в строительных материалах: стат. бюллетень. 2024. № 3. С. 45–51.
2. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
3. European Commission. Report on Nanomaterials Regulation. Brussels, 2023. 120 р.
4. U.S. EPA. Nanotechnology Guidance Document. Washington, 2022. URL: <https://www.epa.gov/nanotech/> (дата обращения: 08.04.2025).
5. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH).
6. NIOSH. Current Strategies for Engineering Controls in Nanomaterial Production. DHHS Publication, 2021.
7. GB/T 30544.4–2016. Nanotechnology – Vocabulary – Part 4: Nano-structured materials.
8. Минстрой России. Обзор нормативной базы строительной наноиндустрии. М., 2024. 67 с.
9. Росстандарт. Проект технического регламента о нанопродукции. 2025. URL: <https://gost.ru/projects/> (дата обращения: 09.04.2025).
10. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
11. ВОЗ. Guidelines on Nanomaterials Safety. Geneva, 2023.
12. Минэкономразвития России. Экспортный потенциал нанотехнологий. М., 2024. 34 с.
13. Арбитражный суд города Москвы. Обзор практики по спорам о нанопродукции (2021–2024 гг.).
14. Технический комитет 411 «Нанотехнологии». План стандартизации на 2025 год.
15. EC Nanoregistry. Annual Report 2024. URL: <https://nanoregistry.eu/> (дата обращения: 10.04.2025).

**УДК 502/504**

*Мария Александровна Воробьева,  
студент*

*Татьяна Александровна Иванова,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)*

*E-mail: vorm4ria@yandex.ru*

*Maria Alexandrovna Vorobyova,  
student*

*Tatiana Aleksandrovna Ivanova,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)*

*E-mail: vorm4ria@yandex.ru*

## **ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ И ТРЕБОВАНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГОСТОВ, СВЯЗАННЫХ С УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ И ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL STANDARDS AND REQUIREMENTS ON CHANGES IN STATE STANDARD RELATED TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

В статье исследуются стандарты устойчивого развития, изменения ГОСТов после введения стандартов устойчивого развития в области строительства, в том числе изменения требований к строительным материалам на протяжении всего их жизненного цикла и влияние этих изменений на качество строительной продукции и качество процесса строительства в целом.

Экологические нормы и требования оказывают существенное влияние на изменение и развитие стандартов, связанных с устойчивым развитием и охраной окружающей среды. Это связано с необходимостью установления предельно допустимых значений воздействия на биосферу, обеспечения экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, зеленое строительство, изменение стандартов, экологические нормы, экологическая безопасность.

The article examines sustainable development standards, changes in GOST standards after the introduction of sustainable development standards in the field of construction, including changes in requirements for building materials throughout their life cycle and the impact of these changes on the quality of construction products and the quality of the construction process as a whole.

Environmental norms and requirements have a significant impact on the change and development of standards related to sustainable development and environmental

protection. This is due to the need to establish maximum permissible values of impact on the biosphere, ensure environmental safety and rational use of natural resources.

*Keywords:* sustainable development, green construction, changing standards, environmental norms, environmental safety.

Устойчивое развитие в строительстве – это стиль строительства, целью которого является смягчение негативных экологических, социальных и экономических последствий.

В настоящее время суммарные выбросы CO<sub>2</sub> от строительной отрасли и эксплуатации зданий оцениваются почти в 40 % от общемировых, связанных с энергетикой.

Что касается стандартизации по международным правилам, то экологичность стройматериалов определяется по некоторым критериям:

- Безопасность для здоровья (не вызывает аллергии, не создает некомфортных условий для жизни и т. д.);
- Срок экологической безопасности – продукция должна соответствовать стандартам не только сразу после изготовления, но и в готовом виде в течение всего срока его использования;
- Соответствие критериям безопасности каждой единицы в каждой поставляемой на рынок партии продукта, а не только представленного на изучение образца.

Сегодня в каждой стране, и Россия не исключение, существуют специально созданные органы стандартизации и сертификации, проверяющие и удостоверяющие того или иного строительного материала международным нормам и стандартам экологической безопасности. Товар, который успешно проходит проверку, получает соответствующий документ и право содержать на упаковке маркировку «EcoMaterial» или «Листок жизни».

Стандарты основаны на оценке жизненного цикла: соответствуют стандарту ИСО 14024 «Этикетки и декларации экологические. Экологическая маркировка типа I. Принципы и процедуры». Таким стандартом является, например, СТО ЛЖ 1.11.5745-11-1.0 Сухие строительные смеси.

К требованиям экологической безопасности согласно СТО ЛЖ 1.11.5745-11-1.0 относятся:

1. Требования к исходному сырью и материалам, а также источникам сырья в случае добычи сырья открытым (карьерным) способом.
2. Требования к готовой продукции (классификации, опасным химическим веществам, содержанию вторичного сырья, тяжелым металлам, эмиссии вредных веществ).
3. Требования к производству (наличию на предприятии системы экологического менеджмента (сертифицированной/несертифицированной) или ее отдельных элементов; предоставлению статистической информации; обращению с отходами на производстве).
4. Требования к упаковке (содержанию галогенов, вторичной переработке, минимизации упаковки).
5. Требования к информированию (для потребителей, для сотрудников, документации по требованиям экомаркировки).

В связи с содержанием вредных веществ, пыли, выделением летучих органических соединений сухие строительные смеси требуют контроля по ГОСТ 31357–2007 Смеси сухие строительные на цементном связующем. Общие технические условия: «Смеси не должны выделять во внешнюю среду вредные химические вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные органами здравоохранения. Некоторые ПДК вредных веществ для отдельных компонентов сухих строительных смесей:

- Зола-уноса. ПДК оксида кремния в воздухе рабочей зоны – 1 мг/м<sup>3</sup>.
- Метакаолин. ПДК в воздухе рабочей зоны: алюмосиликатов – 6 мг/м<sup>3</sup>, оксида кремния – 1 мг/м<sup>3</sup>.
- Гипсовый (молотый) камень. ПДК сульфата кальция в воздухе рабочей зоны – 2 мг/м<sup>3</sup>.

Оценка по системе добровольной экологической сертификации строительных и отделочных материалов EcoMaterial представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Оценка по системе добровольной экологической сертификации  
строительных и отделочных материалов EcoMaterial**

Для кого	Производители строительных и отделочных материалов, строительные компании, физические лица
Цель подтверждения соответствия	Подтверждение безопасности экологичности строительных и отделочных материалов с учетом всего жизненного цикла
Объекты оценки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Строительные материалы;</li> <li>– отделочные материалы;</li> <li>– изделия и конструкции строительного назначения</li> </ul>
Особенности	Сертификат выдается сроком на 4 года при условии продления каждый год
Категории критериев оценки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Раздел А. Санитарно-гигиенический аспект (влияние на здоровье человека);</li> <li>– Раздел В. Комплексное воздействие материала и его производства на окружающую среду;</li> <li>Раздел С. Экологическая ответственность производителя</li> </ul>
Этапы	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выезд на производство предприятия-производителя;</li> <li>– лабораторные испытания продукции</li> </ul>
Рейтинговые значения	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. EcoMaterial Basic (безопасен для человека) – 75 баллов;</li> <li>2. EcoMaterial Green (безопасен для человека и окружающей среды) – 100 баллов;</li> <li>3. EcoMaterial Absolute (экологически чистый материал) – 145 баллов;</li> <li>4. EcoMaterial Absolute+ (экологически чистый высокотехнологичный материал) – 170 баллов;</li> <li>5. EcoMaterial Natural (натуральный материал (отсутствие синтетических компонентов)) – 170 баллов.</li> </ol> <p style="text-align: right;"><i>Максимальное количество баллов – 244</i></p>

*Окончание табл. 1*

Для кого	Производители строительных и отделочных материалов, строительные компании, физические лица
Возможности	<ul style="list-style-type: none"><li>– Выбор в пользу строительных материалов, оказывающих минимальное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека (для строительных компаний и физлиц);</li><li>– Подтверждение экологической ответственности производителя;</li><li>– Повышение престижа продукции (материала);</li><li>– Возможность набрать баллы при сертификации здания по ГОСТ Р</li></ul>

Влияние экологических норм на ГОСТы можно охарактеризовать в следующих пунктах:

1. Установление предельно допустимых значений. ГОСТы адаптируются с учётом этих норм, чтобы обеспечить соблюдение экологических требований при производстве и эксплуатации продукции.

2. Интеграция международных стандартов. Это способствует гармонизации требований и повышению конкурентоспособности продукции на мировом рынке.

3. Учет жизненного цикла продукции. Это позволяет сбалансировать технические характеристики продукции и требования экологической безопасности.

4. Разработка новых стандартов для устойчивого развития. В ответ на глобальные экологические вызовы и требования устойчивого развития в России появляются новые стандарты, направленные на снижение потребления ресурсов, минимизацию отходов и переход к экологически чистым технологиям.

5. Внедрение инноваций и цифровых технологий

Современные ГОСТы учитывают возможности цифровизации и инноваций (ИоТ) для оптимизации производственных процессов и снижения экологического воздействия.

Основные направления изменений ГОСТов под влиянием экологических норм приведены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Основные направления изменений ГОСТов  
под влиянием экологических норм**

Направление изменений	Описание
Ужесточение предельно допустимых норм	Снижение допустимых уровней выбросов и отходов, введение новых лимитов на загрязнения
Внедрение требований устойчивого развития	Обязательства по рациональному использованию ресурсов, минимизации отходов и энергозатрат
Интеграция международных стандартов	Адаптация ГОСТов к международным экологическим требованиям и стандартам
Анализ жизненного цикла продукции	Оценка экологического воздействия на всех этапах производства и эксплуатации
Поддержка инноваций и цифровизации	Включение требований к использованию новых технологий для снижения экологического следа

Таким образом, экологические нормы и требования выступают в качестве движущей силы для постоянного обновления и совершенствования ГОСТов, способствуя развитию устойчивого производства и охране окружающей среды в России.

На данный момент в России действуют три системы сертификации в области экологического строительства. Это ГОСТ Р 54964–2023 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое» строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» и СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012

«Зеленое» строительство. Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания».

Недостатки «зеленых стандартов» в строительстве в России:

Одной из главных проблем является ситуация, когда здания называют «зелеными» без проведения независимой оценки соответствия стандартам. Часто «зеленым» считается проект, а не фактически построенное и введенное в эксплуатацию здание, которое может не соответствовать заявленным показателям энергоэффективности и сниженного потребления ресурсов. Присвоение «зеленого» статуса осуществляется проектам без последующего подтверждения энергоэффективности и экологичности построенных зданий. Это подрывает доверие к «зеленым» стандартам и снижает реальные экологические эффекты.

В России нет четкого и официального определения «зеленого строительства» в законодательстве, а национальные ГОСТы зачастую копируют западные системы сертификации (LEED, BREEAM), не учитывая российских климатических и технологических особенностей. На текущий момент в сфере устойчивого развития в России характеризуется наличием большого количества конкурирующих и не синхронизированных между собой норм и правил как в сфере стандартизации, так и в сертификации.

Стандарт ГОСТ Р 70346–2022 Здания многоквартирные жилые «Зеленые» где, каждая из десяти категорий оценки направлена на соблюдение принципов устойчивого развития и содержит критерии, которые все вместе создают комфортную и безопасную для жителей среду.

Наиболее эффективные технологии и материалы для экологически чистых зданий:

- Зеленые крыши (*living roofs*) покрыты растительностью и почвой, что способствует снижению температуры здания, фильтрации дождевой воды и улучшению городского микроклимата.
- Живые стены (*living walls*) очищают воздух, повышают влажность и создают комфортную среду для обитателей.
- Солнечные панели и микроветрогенераторы.

Солнечные панели и микроветрогенераторы обеспечивают здания возобновляемой энергией, снижая зависимость от ископаемого топлива и выбросы парниковых газов.

- Пассивный солнечный дизайн

Использование архитектурных решений для максимального использования солнечного тепла и естественного освещения, что минимизирует потребность в отоплении и кондиционировании.

- Высокоэффективные системы HVAC и умное освещение

Современные системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC) с программируемыми терmostатами и энергоэффективные окна существенно снижают энергопотребление. Умные системы освещения с датчиками движения и LED-лампами сокращают расход электроэнергии.

- Системы сбора дождевой воды и водосбережения

Внедрение технологий сбора и повторного использования дождевой воды, а также систем фильтрации для сокращения потребления пресной воды на строительстве и эксплуатации зданий.

- Модульное и префабрикованное строительство

Использование сборных элементов, произведённых в контролируемых условиях, уменьшает строительные отходы и ускоряет процесс возведения зданий.

Примеры экологически эффективных материалов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Примеры экологически эффективных материалов**

Материал	Описание и преимущества
Бамбук	Быстрорастущий, прочный и легкий материал с низким углеродным следом, подходит для несущих конструкций
Пробка	Возобновляемый, лёгкий, влагостойкий и огнеупорный материал с отличными теплоизоляционными свойствами
Немprete (конопля- ный бетон)	Лёгкий, углеродно-отрицательный материал, хорошо изолирует и быстро восстанавливается в природе

*Окончание табл. 3*

Материал	Описание и преимущества
Ferrock	Альтернатива бетону из переработанной стали и кремния, улавливает CO <sub>2</sub> при затвердевании, очень прочный
Переработанная древесина, пластик и сталь	Снижают количество отходов и нагрузку на природные ресурсы, долговечны и устойчивы
Экологичная изоляция	Материалы из переработанной бумаги (целлюлоза), хлопка, шерсти или пробки, безопасны и эффективны
Массовая древесина (mass timber)	Используется вместо бетона и стали, сокращает выбросы CO <sub>2</sub> и обеспечивает высокую прочность
Локальные материалы	Снижают транспортные издержки и выбросы, адаптированы к местным условиям

Экологичность строительного материала следует определять при помощи анализа его жизненного цикла.

Все строительные материалы по степени экологичности можно разделить на экологичные (камень, дерево, войлок и т. д.), условно экологичные (кирпич, бетон) и неэкологичные (краски, лаки, теплоизоляционные плиты на основе полиуретана и другие, в процессе изготовления и эксплуатации которых воздух загрязняется токсичными веществами). Чтобы определить, является ли материал экологичным, недостаточно результатов лабораторного тестирования образца – нужно произвести полный анализ жизненного цикла материала.

Анализ полного цикла происходит поэтапно:

1. Подготовительный этап

Анализируется процесс добычи сырья для производства материала.

Предпосылки для получения экологичного материала:

– Сырье восстанавливаемое, и его запасы достаточны.

– В процессе добычи не требуется большого количества энергии, и не загрязняется окружающая среда

– Сырье не выделяет вредных веществ.

#### 2. Этап изготовления материала.

На этом этапе анализируется процесс изготовления материала по следующим пунктам: затраты энергии, уровень загрязнения окружающей среды и количество отходов. При производстве экологичного материала не требуется больших затрат энергии, выбросы в атмосферу вредных веществ минимальны, количество отходов небольшое. В идеале организуется безотходное производство.

#### 3. Эксплуатация материала

Оценивается материал в процессе использования по назначению. Если материал соответствует требованиям экологичности, в процессе эксплуатации и ремонта выявляются:

– благотворное влияние на микроклимат в помещении

– простота в использовании (монтаже, отделке и т. д.) При этом нет необходимости прибегать к дополнительным материалам, выделяющих токсичные вещества: например, клей, растворы...

– долговечность

– возможность ремонта

#### 4. Утилизация отходов

Оцениваются затраты и экологические риски при разборе отслужившего здания и утилизация отходов от технологических процессов и оборудования.

Отходы экологичного материала можно утилизировать достаточно легко, без больших энергозатрат и нанесения вреда окружающей среде.

#### 5. Использование в другом качестве

Отслуживший экологичный материал можно использовать в качестве сырья для получения новой продукции. Например, отслужившее стекло используется для изготовления новых изделий. Такой путь намного экономичнее и экологичнее, чем изначальное производство материала.

На основе полученных данных в ходе анализа, материал относят к одной из категорий: экологичный, условно экологичный, неэкологичный.

Экологичные материалы изготавливаются из сырья, которое способно с течением времени возобновляться (дерево). Не загрязняют окружающую среду выбросами вредных веществ в процессе изготовления и эксплуатации. Не требуют большого количества энергии в процессе производства. Отходы отслужившего материала нетоксичны, могут быть пущены в производство или утилизованы с минимальными затратами.

Условно экологичные материалы получают из полезных ископаемых или в ходе переработки отслуживших изделий. Это позволяет экономить до 80 % энергии.

К условно экологичным материалам относится плитка, кирпич, черепица, бетон, стекло, алюминий. В процессе производства загрязнение окружающей среды контролируется в пределах допустимых норм.

Неэкологичные материалы – те, которые и в процессе производства, и при эксплуатации способны выделять отравляющие вещества: фенол, формальдегид, крезол, бензол, тяжёлые металлы. Это синтетические лаки, краски, полимерные материалы.

В строительстве необходимо стремиться к использованию материалов из первых двух категорий. Важно не применять, а если уже произошла утилизация лкм, то впредь вовремя использовать краски и лаки до истечения срока годности.

Примером исследования экологического материала является работа по испытанию бамбука, проведённая в СПбГАСУ магистрантами кафедры МиДК.

### **Заключение**

Наиболее эффективный подход в области экологического строительства – это интеграция сразу нескольких технологий и материалов: использование возобновляемых источников энергии, экологичных изоляционных и конструкционных материалов, а также внедрение систем автоматизации и умного управления ресурсами.

Такой комплексный подход позволяет создавать действительно экологически чистые здания, минимизируя их негативное воздействие на окружающую среду. Строительная отрасль имеет большой потенциал устойчивого развития, который характеризуется термином «зеленое» строительство.

### **Литература**

1. Безопасность при проектировании зданий и сооружений. Ливенцов М. А. – 2018 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-pri-proektirovani-zdaniy-i-sooruzheniy/viewer/> (дата обращения: 17.04.2025).
2. Об экологических нормативах в архитектурно-градостроительном проектировании. Сухинина Е. А – 2014 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ekologicheskikh-normativah-v-architekturno-gradostroitelnom-proektirovani/viewer/> (дата обращения: 17.04.2025).
3. Сертификация DGNB – Как строительство становится устойчивым и экологически ответственным: LINEAR. Nele Kistner-Bahr – 2021 – URL: <https://www.linear.eu/ru/blog/sertifikacija-dgnb-kak-stroitelstvo-stanovitsja-ustoichivym-i-ehkologicheskiy-otvetstvennym/> (дата обращения: 17.04.2025).
4. Как определить экологическую безопасность стройматериалов – 2024 – URL: <https://www.01beton.ru/council/40/> (дата обращения: 17.04.2025).
5. Стандарт СТО ЛЖ 1.11.5745-11-1.0 с изменением № 1 Сухие строительные смеси – 2022. – URL: <https://ecounion.ru/> (дата обращения: 17.04.2025).
6. Гришина К. В. «Зелёные» стандарты в строительстве / К. В. Гришина. – Текст : непосредственный // Молодой учёный. – 2022. – № 23(418). – С. 241–243. – URL: <https://moluch.ru/archive/418/92716/> (дата обращения: 17.04.2025).
7. Определение экологичности строительного материала при помощи анализа его жизненного цикла – 2023 – URL: <https://intergreen.ru/articles/statii/opredelenie-ekologichnosti-stroitelnogo-materiala/> (дата обращения: 17.04.2025).
8. Бамбук как строительный материал – 2022 – URL: <https://amusementlogic.ru/2022/12/02/bambuk-kak-stroitelnyj-material/> (дата обращения: 17.04.2025).
9. В СПбГАСУ экспериментально доказали, что в гражданском инженерном строительстве бамбук выгоднее древесины. Любовь Угланова – 2024 – URL: <https://www.spbgasu.ru/news-and-events/news/v-spbgasu-eksperimentalno-dokazali-chto-v-grazhdanskom-inzhenernom-stroitelstve-bambuk-vygodnee-drev/> (дата обращения: 17.04.2025).
10. ГОСТ Р ИСО 14024–2022. Экологические маркировки и заявления. Экологическая маркировка типа I. Принципы и процедуры. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78042/> (дата обращения: 17.04.2025).
11. ГОСТ Р ИСО 21678–2023. Устойчивое развитие. Здания и сооружения. Показатели и критерии – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/79684/> (дата обращения: 17.04.2025).

12. ГОСТ Р 54964–2023. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/81791/> (дата обращения: 17.04.2025).

13. СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011. «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания. – URL: [https://nostroy.ru/department/metodolog/otdel\\_tehnicheskogo\\_Regulir/sto/CTO%20НОСТРОЙ%202.35.4-2011.pdf/](https://nostroy.ru/department/metodolog/otdel_tehnicheskogo_Regulir/sto/CTO%20НОСТРОЙ%202.35.4-2011.pdf/) (дата обращения: 17.04.2025).

14. СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012. «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания. – URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293785/4293785116.htm> (дата обращения: 17.04.2025).

15. ГОСТ Р 70346–2022. Здания многоквартирные жилые «Зеленые» – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78655/> (дата обращения: 17.04.2025).

16. «Зеленый» строительный стандарт начинает... и что дальше? Об этом сообщает «Рамблер». – 2022 – URL: [https://finance.rambler.ru/realty/49620573/?utm\\_content=finance\\_media&utm\\_medium=read\\_more&utm\\_source=copylink https://finance.rambler.ru/realty/49620573-zelenyy-stroitelnyy-standart-nachinaet-i-cto-dalshe/](https://finance.rambler.ru/realty/49620573/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink https://finance.rambler.ru/realty/49620573-zelenyy-stroitelnyy-standart-nachinaet-i-cto-dalshe/) (дата обращения: 17.04.2025).

17. Стандарты «зеленого» строительства: эффективность и перспективы развития – URL: <https://journal.ecostandard.ru/esg/ustoychivoe-razvitiye/standarty-zelenogo-stroitelstva-effektivnost-i-perspektivy-razvitiya/> (дата обращения: 17.04.2025).

**УДК 691.328**

*Павел Кириченко,*

магистрант

*Максим Павлович Кострикин,*

канд. техн. наук

(Санкт-Петербургский

государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: ptizheed@mail.ru,*

*kostrikm@mail.ru*

*Pavel Kirichenko,*

Master's degree student

*Maxim Pavlovich Kostrikin,*

PhD in Sci. Tech.

(Saint Petersburg

State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: ptizheed@mail.ru,*

*kostrikm@mail.ru*

## **СТАЛЕФИБРОЖЕЗОБЕТОН ДЛЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

### **STEEL-FIBER-REINFORCED REINFORCED CONCRETE FOR BENDING ELEMENTS**

В статье представлен сравнительный анализ физико-механических характеристик фибробетона, армированного двумя видами стальной фибры, предназначенного для использования в изгибаемых строительных конструкциях для замены бетонной матрицы. Исследованы зависимости прогиба от приложенной нагрузки для образцов без армирования, а также с фрезерной и проволочной стальными волокнами при различном их количестве. Показано, что фрезерная фибра приводит к меньшему увеличению прочности и вязкости разрушения, чем проволочное армирование. Анализ диаграмм свидетельствует о том, что превышение оптимального количества фибры ведет к снижению прочности и ухудшению эксплуатационных свойств материалов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности замены бетонной матрицы на сталефибробетон в сборных изгибаемых конструкциях, позволяя обеспечить высокие физико-механические характеристики.

*Ключевые слова:* сталефиброжелезобетон, изгибающие элементы, армирующие волокна, повышение прочности, стальная фибра.

The article presents a comparative analysis of the physical and mechanical characteristics of fiber-reinforced concrete reinforced with two types of steel fiber, intended for use in bending building structures to replace the concrete matrix. The dependences of the deflection on the applied load for samples without reinforcement, as well as with milled and wire steel fibers at different amounts of them, are studied. It is shown that milled fiber leads to a smaller increase in strength and

fracture toughness than wire reinforcement. Analysis of the diagrams indicates that exceeding the optimal amount of fiber leads to a decrease in strength and deterioration in the performance properties of materials. The results obtained allow us to conclude that it is possible and advisable to replace the concrete matrix with steel fiber concrete in prefabricated bending structures, ensuring high physical and mechanical characteristics.

*Keywords:* steel fiber-reinforced reinforced concrete, flexible elements, reinforcing fibers, increased strength, steel fiber.

Сталефиброжелезобетон – это композитный материал, сочетающий в себе свойства железобетона и стальных армирующих волокон. Он предназначен для повышения прочности, долговечности и особенно – трещиностойкости конструкций, что важно при проектировании изгибаемых элементов [1].

Повышение эффективности строительных материалов является приоритетной задачей для современной науки, поскольку традиционные материалы, особенно бетон и железобетон, приближаются к своим предельным возможностям.

Эта ограниченность препятствует строительству уникальных архитектурных объектов, таких как небоскребы и сооружения с большими пролетами, что, в свою очередь, стимулирует развитие строительного материаловедения в направлении разработки новых, более прочных, легких и долговечных материалов [1]. Необходимость устойчивого развития и снижения воздействия на окружающую среду также подталкивает к инновациям в области производства строительных материалов, с фокусом на ресурсосбережение и использование возобновляемых источников.

В решении поставленных задач важную роль играют композиционные строительные материалы, ярчайшим представителем которых является фибробетон, отличающийся от обычного бетона наличием армирующих волокон, придающих материалу уникальные свойства, которые не могут быть получены при использовании бетонов без дисперсной арматуры.

Для изготовления фибры используют различные материалы как природного, так и искусственного происхождения: металлы, стек-

ло, базальт, различные полимеры, целлюлоза и некоторые другие. Каждый вид фибры придают бетону свои уникальные свойства. Стеклянная фибра обладает высокой прочностью и стойкостью к химическим воздействиям, но отличается хрупкостью. Полимерная фибра, напротив, более гибкая и устойчива к коррозии, хотя и уступает металлической в прочности. Металлические волокна обеспечивают высокую прочность и трещиностойкость, но затрудняют работу с фибробетонными смесями. Базальтовые волокна выделяются высокой прочностью и стойкостью к высоким температурам, но отличаются низкой щёлочестойкостью [2].

На основании предыдущих исследований, проведённых учёными кафедры Технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ, накоплен огромный опыт в применении дисперсно армированных бетонов, и установлены области эффективного использования армирующих волокон. Добавление фибры в бетон существенно повышает его прочность на растяжение и изгиб, снижает вероятность образования и раскрытия трещин, улучшает стойкость к ударным нагрузкам и, в целом, увеличивает долговечность конструкций [5].

Фибробетон может быть применён не только как самостоятельный материал, но и способен заменить собой бетонную матрицу в составе железобетонных изделий. В представленном исследовании была проведена сравнительная оценка бетонов, армированных двумя видами стальных волокон, с целью замены бетонной матрицы в ненапряжённом железобетонном ригеле РДП 4,57-50, выпускавшем по серии 1.020.1-7 выпуск 3-1. Изображение и опалубочный чертёж выбранного ригеля приведены на рисунках 1 и 2.

На основании требований к бетону для производства выбранного ригеля и проведённого входного контроля сырьевых материалов был запроектирован состав бетона класса по прочности В30, представленный в табл. 1.

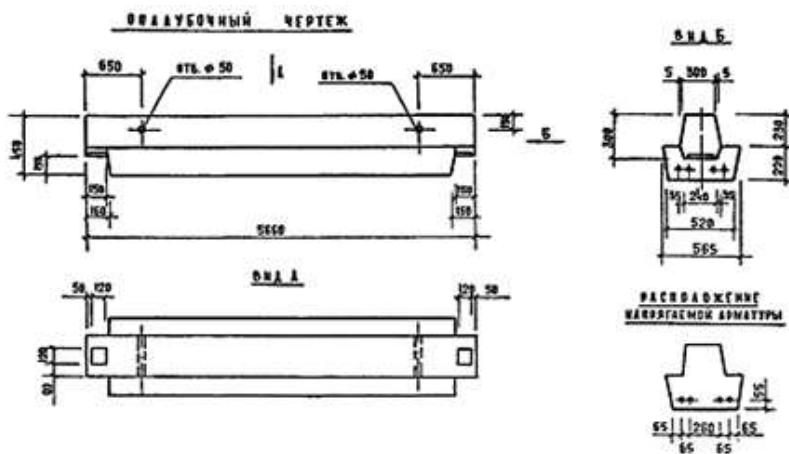


Рис. 1. Опалубочный чертёж ригеля РДП 4,57-50



Рис. 2. Изображение ригеля РДП 4,57-50

Таблица 1

**Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси**

Материал	Расход на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг
Цемент	330
Песок	850
Щебень	1050
Вода	153
Добавка – пластификатор	1,65

Для дисперсного армирования применялись стальные волокна с разной формой профиля, но обладающие одинаковым эквивалентным диаметром, составившим 0,7 мм. Параметры армирующих волокон, использованных в исследовании, представлены в табл. 2, изображения – на рис. 3. Из указанных составов изготавливались образцы-кубы размером 10×10×10 см в количестве 10 штук для определения прочности на сжатие и образцы-призмы размерами 7×7×28 см в количестве 15 штук, подвергавшиеся испытаниям на растяжение при изгибе, а также оценки силовых и энергетических характеристик разрушения по методике ГОСТ 29167 [5].



Рис. 3. Использованные в исследовании волокна:  
слева – фрезерная фибра; справа – проволочная фибра

Таблица 2

**Параметры армирующих волокон, использованных в исследовании**

Характеристики	Проволочная	Фрезерная
Материал	Сталь	Сталь
Длина, мм	45	35
Эквивалентный диаметр, мм	0,7	0,7
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7800	7800
Модуль упругости, МПа	200 000	200 000
Форма	Проволока волнового профиля	Отрезки фрезерной стружки с отгибами на концах

Полученные в ходе экспериментальной части исследования результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты экспериментальных исследований**

Характеристики	Без армирования	0,7 % проволочная	0,9 % проволочная	0,7 % фрезерная	0,9 % фрезерная
Средняя плотность, $\rho_{cp}$ кг/м <sup>3</sup>	2405	2420	2395	2420	2430
Прочность на сжатие $R_{ck}$ , МПа	42,1	43,5	38,6	45,9	52,5
Прочность на изгиб $R_{izg}$ , МПа	6,59	13,92	12,8	8,01	11,66
Модуль упругости $E$ , МПа	34 900	41 200	35 700	45 500	42 500
Энергозатраты на статическое разрушение $G_f$ , Дж/м <sup>2</sup>	160,7	7975,5	11 072	821,9	697,0
Коэффициент интенсивности напряжений $K_c$ , МПа·м <sup>0,5</sup>	1,20	1,39	1,25	1,50	1,37

На основании анализа результатов можно сделать следующие выводы:

Средняя плотность всех образцов оставалась относительно стабильной и составляла от 2395 кг/м<sup>3</sup> до 2430 кг/м<sup>3</sup>, что позволяет сравнивать результаты.

Прочность на сжатие: Улучшение прочности на сжатие наблюдается только при использовании фрезерной фибры. При этом увеличение сосредоточено в диапазоне 9–20 %, в зависимости от процентного содержания фибры.

Прочность на изгиб ( $R_{изг}$ ) продемонстрировала более значительное влияние армирования, увеличившись с 6,59 МПа в неармированном образце до 13,92 МПа с проволочной фиброй; прирост составляет порядка 100–110 %. Фрезерная фибра также повышает этот параметр, но в меньшей степени, в пределах от 21 % до 77 % в зависимости от объема армирования.

Модуль упругости (E) также увеличился, достигнув максимума в 45 500 МПа при использовании фрезерной фибры в количестве 0,7 %. Таким образом, максимальный прирост составил 30 % относительно неармированного состава.

Энергозатраты на статическое разрушение после начала движения магистральной трещины ( $G_p$ ): Наибольшие значения энергии разрушения достигаются при использовании проволочной фибры, особенно при содержании 0,9 % (11 072 Дж/м<sup>2</sup>) против 160,7 у неармированного образца (увеличение в 69 раз). Это указывает на значительное повышение вязкости разрушения материала. Фрезерная фибра показывает меньший эффект, увеличивая вязкость в 5 раз.

Коэффициент интенсивности напряжений (K<sub>J</sub>): При любом виде и количестве армирования отмечается увеличение коэффициента интенсивности напряжений, свидетельствуя о повышении сопротивления распространению трещин. Наибольшее значение наблюдается при использовании 0,7 % фрезерной фибры (1,50 МПа·м<sup>0,5</sup>, прирост на 25 % относительно неармированного состава).

Важно отметить, что использование 0,9 % проволочной фибры демонстрирует худшие результаты по сравнению с 0,7 %. Это объясняется технологическими сложностями, возникающими

при повышенном содержании фибры, такими как затрудненное перемешивание, укладка и уплотнение смеси, а также образование «ежей», приводящих к неоднородности структуры.

В ходе испытаний на прочность на растяжение при изгибе в соответствии с требованиями ГОСТ 29167 при помощи прибора оригинальной конструкции [5] были построены диаграммы зависимости прогибов от прилагаемых нагрузок, представленные на рис. 4–7.

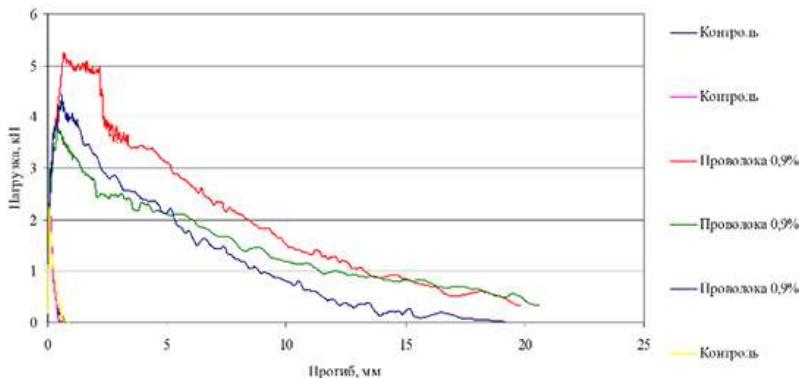


Рис. 4. Диаграммы деформирования образцов, армированных 0,9 % проволочной фибры в сравнении с неармированными образцами

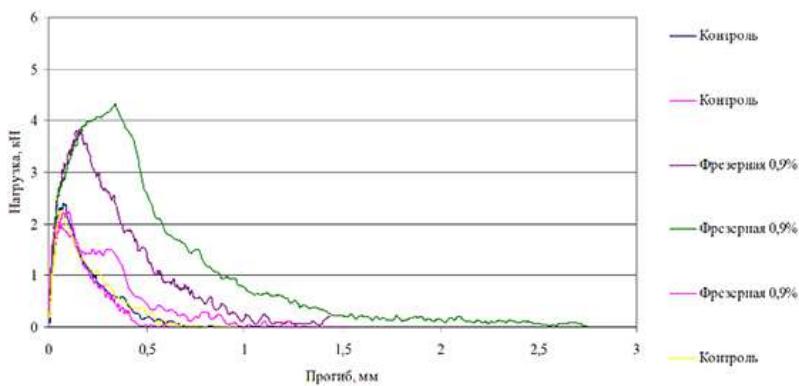


Рис. 5. Диаграммы деформирования образцов, армированных 0,9 % фрезерной фибры в сравнении с неармированными образцами

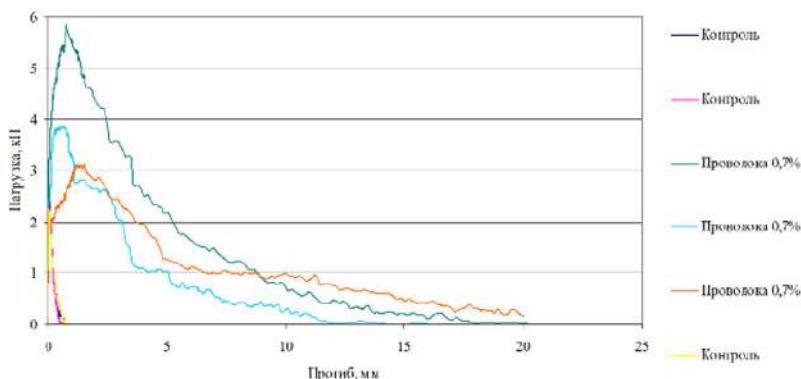


Рис. 6. Диаграммы деформирования образцов, армированных 0,7 % проволочной фибры в сравнении с неармированными образцами

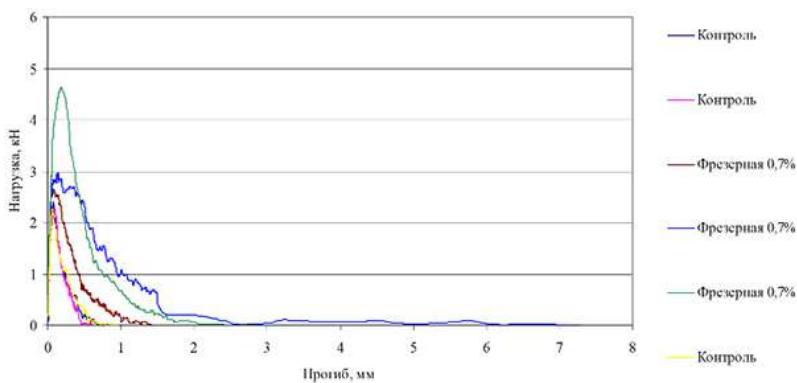


Рис. 7. Диаграммы деформирования образцов, армированных 0,7 % фрезерной фибры в сравнении с неармированными образцами

Полученные диаграммы позволяют наглядно показать различия между неармированными образцами и образцами, содержащими армирующие волокна с различной формой профиля. Неармированные образцы разрушаются хрупко – после достижения максимальной нагрузки образец разрушается на две половины. На диаграммах неармированные образцы показывают прогиб 0,2 мм.

Фрезерная фибра позволяет увеличить максимальную нагрузку, соответствующую пределу прочности образца, достигаемую при прогибе 0,3–0,5 мм. При этом следует отметить и увеличение вязкости разрушения в сравнении с контрольным составом. Однако более развитая поверхность фрезерной фибры при одинаковом с проволочной фиброй эквивалентном диаметре обуславливает более полную реализацию её прочностного потенциала, и, соответственно, меньшую вязкость разрушения.

Проволочная фибра позволяет достичь предела прочности ста-лефибробетона при сравнимом с фрезерной фиброй прогибе, од-нако она придаёт значительно большую вязкость разрушения образ-цу – при окончании испытания при прогибе, равном 20 мм, фибра ещё имеет способность анкероваться в образце.

В целом, полученные результаты подчеркивают, что форма по-перечного сечения и поверхности используемых стальных волокон оказывают определяющее воздействие на характер поведения фи-бробетона под нагрузкой, что является важным фактором при про-ектировании конструкций, особенно в условиях, требующих высо-кой прочности, трещиностойкости и долговечности. Таким образом, выбор типа армирования и степени обработки является критически важным для оптимизации эксплуатационных характеристик мате-риалов и конструкций.

### **Заключение**

Анализируя полученные результаты, можно сделать следую-щие выводы:

– Влияние армирования на прочность на сжатие невелико: улуч-шение отмечено только при использовании фрезерной фибры, в пре-делах от 9 до 24,7 %

– Прочность на изгиб увеличивается значительно. Проволочная фибра увеличивает на 94,8 %, фрезерная – от 21,55 до 76,93 %.

Армирование бетона 0,9 % проволочной фибры показало худ-шие результаты, чем 0,7 % ввиду сложностей технологического ха-рактера при перемешивании, укладке и уплотнении смеси, образ-вании ежей.

Таким образом, полученные результаты подчеркивают, что форма поперечного сечения и, соответственно, площадь боковой поверхности, волокна является одним из важнейших факторов, определяющих поведение бетона под нагрузкой и его физико-механические характеристики, что является важным фактором при проектировании конструкций, особенно в условиях, требующих высокой прочности, трещиностойкости и долговечности.

Полученные в результате экспериментальных исследований данные станут основой для создания детализированной модели ригеля в специализированном программном комплексе. Эта модель позволит провести численное моделирование и оценить поведение ригеля под нагрузкой. Особое внимание будет уделено сравнительному анализу эффективности различных составов бетона, а именно традиционного железобетона и сталефиброжелезобетонных вариантов. Целью является выявление преимуществ и недостатков каждого типа бетона с точки зрения прочности, деформативности и трещиностойкости, что позволит обосновать выбор оптимального материала для проектирования ригелей. Результаты моделирования будут сопоставлены с экспериментальными данными для оценки адекватности модели и повышения достоверности прогнозов.

### Литература

1. Ивлев М. А., Струговец И. Б., Недосеко И. В. Сравнительная оценка несущей способности, трещиностойкости и деформативности перемычек со стандартным и дисперсным армированием // Известия КГАСУ. 2012. № 4(22). С. 117–123.
2. Карпенко Н. И., Травуш В. И., Каприлов С. С., Ишина А. В., Андрианов А. А., Безгодов И. М. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочного сталефибробетона // Строительные науки. 2013. № 1. С. 106–113.
3. Кудяков К. Л., Невский А. В., Ушакова А. С. Влияние дисперсного армирования углеродными волокнами на прочностные свойства бетона / XI Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 22–25 апреля 2014 г.
4. Морозов В. И., Хегай О. А. Исследования фиброжелезобетонных колонн с высокопрочной арматурой // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 3(28). С. 34–37.
5. Жаворонков М. И., Пантелейев Д. А. Анализ поведения фибробетона, армированного синтетической макрофиброй, под нагрузкой при изгибе. 2024. № 9–2(96). С. 1–2.

**УДК 658.516**

Дмитрий Михайлович Лейкин,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: leikin90@inbox.ru*

*Dmitrii Mikhailovich Leikin,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: leikin90@inbox.ru*

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОВЕРИЯ К СИСТЕМАМ ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ**

### **INCREASING TRUST IN VOLUNTARY CERTIFICATION SYSTEMS**

В статье рассматриваются проблемы добровольной сертификации в Российской Федерации после отмены системы ГОСТ Р. Проанализированы ключевые недостатки существующей системы, включая отсутствие строгих требований к документации, слабый надзор за деятельностью органов сертификации, а также распространение фальсифицированных сертификатов. Подчеркивается, что из-за уведомительного характера регистрации систем добровольной сертификации и отсутствия эффективного контроля снижается доверие бизнеса и потребителей к подобным сертификатам. Предлагаются меры по совершенствованию системы, такие как усиление надзора, создание единого государственного реестра сертифицированной продукции, обязательная аккредитация органов сертификации и повышение осведомленности потребителей. Особое внимание уделяется необходимости законодательных изменений и взаимодействия между Национальной системой сертификации и другими добровольными системами. Автор приходит к выводу, что только комплексный подход с участием государства, бизнеса и потребителей позволит восстановить доверие к добровольной сертификации и превратить ее в эффективный инструмент подтверждения качества продукции.

*Ключевые слова:* добровольная сертификация, Национальная система сертификации, ГОСТ Р, техническое регулирование, контроль качества, Росстандарт, аккредитация, строительные материалы.

The article examines the challenges of voluntary certification in the Russian Federation following the abolition of the GOST R system. It analyzes key shortcomings of the current system, including the lack of stringent documentation requirements, weak oversight of certification bodies, and the proliferation of counterfeit certificates. The author emphasizes that the notification-based registration of vol-

unitary certification systems and the absence of effective controls have eroded trust among businesses and consumers in such certifications. Proposed measures to improve the system include strengthening supervision, establishing a unified national register of certified products, mandatory accreditation of certification bodies, and enhancing consumer awareness. Particular attention is given to the need for legislative reforms and collaboration between the National Certification System and other voluntary certification schemes. The author concludes that only a comprehensive approach involving the state, businesses, and consumers can restore trust in voluntary certification and transform it into an effective tool for verifying product quality.

*Keywords:* voluntary certification, National Certification System, GOST R, technical regulation, quality control, Rosstandart, accreditation, construction materials.

Добровольная сертификация традиционно играла важную роль в подтверждении качества продукции в России. Система ГОСТ Р, несмотря на добровольный характер, пользовалась высоким доверием у потребителей благодаря ассоциации с советскими стандартами качества. Однако в 2019 году Росстандарт упразднил эту систему (Приказ № 3358 от 26.12.2019) [1] ввиду реформирования и обновления всей системы добровольной сертификации. Никакого переходного периода в связи с отменой системы ГОСТ Р предусмотрено не было, что привело к переходу на альтернативные системы добровольной сертификации. Заявитель вправе выбрать любую, если его продукция является ее объектом сертификации.

Несмотря на значительное количество зарегистрированных систем добровольной сертификации [2] (далее – СДС), их эффективность снижается из-за отсутствия строгого контроля, возможности регистрации СДС без глубокой экспертизы и распространения недобросовестных практик. В результате сертификаты зачастую не гарантируют реального качества продукции, что подрывает доверие бизнеса и потребителей [3].

Рассмотрим основные проблемы систем добровольной сертификации в России (см. табл.).

### **Проблемы систем добровольной сертификации в России**

Проблема	Описание
Отсутствие требований к содержанию документации	Регистрация систем добровольной сертификации носит уведомительный характер, что позволяет создавать СДС с произвольными критериями соответствия. Это приводит к появлению «сертификатов-однодневок», не имеющих реальной ценности
Недостаточный надзор за деятельностью СДС	Отсутствие эффективного контроля со стороны Росстандарта и других регулирующих органов способствует распространению фальсифицированных сертификатов
Низкая осведомленность потребителей	Многие заказчики до сих пор запрашивают сертификаты ГОСТ Р, не понимая различий между обязательной и добровольной сертификаций
Конкуренция между добросовестными и недобросовестными органами сертификации	Легитимные органы сертификации сталкиваются с нечестной конкуренцией со стороны организаций, предлагающих сертификаты за символическую плату без проведения реальных испытаний
Отсутствие единого реестра сертифицированной продукции	В настоящее время не существует централизованной базы данных по добровольным сертификатам, что затрудняет проверку их подлинности

Системы добровольной сертификации изначально были призваны естественным образом выработать стандарты обслуживания и деятельности, однако в современных реалиях такие системы стали инструментом мошенничества. Причина кроется в наличие органов и систем однодневок, которые выдают сертификаты за условную стоимость [4].

Проблема стоит остро, члены общественного совета Росстандарта озвучивают вопрос наплыва фальсифицированной продукции и недобросовестных органов и систем добровольной сертификации [3].

Ввиду ненадлежащего надзора в области добровольной сертификации, все, даже фальсифицированные сертификаты являются настоящими и информацию о них можно найти на официальном сайте Росстандарта, однако никаких преимуществ для ведения бизнеса они не дают. В чем заключается проблема?

- нет официальных «белых списков» систем добровольной сертификации;
- отсутствие реестра добросовестных органов добровольной сертификации [3].

И хоть Росстандарт разработал собственную систему по сертификации «Национальная система сертификации (далее – НСС), строительные материалы в этот перечень не входят. Сторонними организациями ведутся белые реестры систем и органов добровольной сертификации, но данные лица, по большей части, оказывают услуги консультационного характера по подбору добросовестных систем и органов. Заинтересованные стороны хотели бы иметь возможность работать в единой системе [5].

Обязательная сертификация (например, по ГОСТам и техническим регламентам) устанавливает минимальные требования к выпускаемой продукции, недостаточной для конкурентоспособности [6]. Добровольная сертификация решает этот вопрос, позволяя сертифицировать продукцию по дополнительным критериям качества, что повышает доверие потребителей [7].

Добровольная сертификация не только подтверждает соответствие продукции нормативным требованиям, но и демонстрирует дополнительные гарантии качества. Это снижает потребительские риски и укрепляет доверие к продукту [8]. Наличие сертификатов становится конкурентным преимуществом в строительной отрасли, где выбор часто зависит от подтверждённых показателей надежности и безопасности [9].

Деятельность тех органов по сертификации, функционирующих в системах добровольной сертификации, которые соблюдают действующее законодательство (а именно Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [11] и Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ

«Об аккредитации в национальной системе аккредитации» [12]) и аккредитованы в национальной системе аккредитации, не приводят к снижению качества соответствующих услуг.

Какие действия следует предпринять для совершенствования рынка добровольной сертификации и повышения доверия к системам добровольной сертификации?

- Необходима тщательная проверка содержания перечня документов, требуемых для регистрации системы добровольной сертификации;
- тесное взаимодействие НСС с другими органами добровольной сертификации с точки зрения осуществления правильных работ в области сертификации, прозрачности и достоверности результатов [3];
- требуется создать единый государственный реестр объектов добровольной сертификации;
- обязательная аккредитация органов по сертификации в национальной системе по аккредитации;
- следует повышать осведомленность и компетентность потребителей [10].

На рынке не должны выдаваться документы, называемые сертификатами, неаккредитованными органами, что по большому счету, является нарушением законодательства об аккредитации, то есть введение в заблуждение. Данный факт говорит о возможностях улучшения работы системы аккредитации [13].

### **Заключение**

Необходимо развивать статус добровольной сертификации как инструмента подтверждения именно качества продукции [14]. Инициатива только сотрудников систем добровольной сертификации без участия государственных органов и заказчиков услуг добровольной сертификации не обеспечит ожидаемого результата. Потенциал развития для устойчивого положения в данной сфере есть, и к нему нужно стремиться [15].

## **Литература**

1. Приказ Росстандарта от 26.12.2019 № 3358 «Об отмене действия систем добровольной сертификации на территории Российской Федерации и исключении сведений из Единого реестра зарегистрированных систем добровольной сертификации».
2. Единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/VoluntaryAcknowledgement/reestr/> (дата обращения: 08.04.2025).
3. Российская неделя стандартизации. Сессия «Добровольная сертификация: гарантия качества и доверие потребителей», 2021.
4. ГОСТ Р 1.0–2012. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.
5. Национальная система сертификации. Главное, что нужно знать о Национальной системе сертификации. URL: <https://www.rst.gov.ru/> (дата обращения: 08.04.2025).
6. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «О техническом регулировании», ст. 25. Обязательная сертификация.
7. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «О техническом регулировании», ст. 21. Добровольное подтверждение соответствия.
8. Потребительское доверие к знакам соответствия. – URL: <https://roskachestvo.gov.ru/news/rossiyskomu-znaku-kachestva-doveryayut-85-grazhdan-rossii/>
9. Отчет Комитета ТПП РФ по техническому регулированию, стандартизации и качеству продукции проведено расширенное заседание на тему «О проблемах добровольной сертификации в Российской Федерации», 2024.
10. Проблемы развития национальной системы сертификации. Журнал «Стандарты и качество», № 5, 2022.
11. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_40241/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/) (дата обращения: 09.04.2025).
12. Федеральный закон «Об аккредитации в Национальной системе аккредитации» от 28.12.2013 № 412-ФЗ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156522/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156522/) (дата обращения: 09.04.2025).
13. «Техническое регулирование и сертификация продукции в строительстве». Отчет Комитета РСПП по строительной выставке «BAUTECH 2018», 2018.
14. Научно-практический журнал «Стандартизация № 4-2020» // Электронные реестры сертификации: зарубежный опыт, 2020. С 64–66.
15. Добровольная сертификация соответствия – кому нужна? URL: <https://www.klerk.ru/materials/2023-06-08/dobrovolnaya-sertifikaciya-sootvetstviya-komu-nuzhna/> (дата обращения: 10.04.2025).

**УДК 666.973**

*София Андреевна Михеева,*

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: sofya-miheeva@mail.ru*

*Sofia Andreevna Mikheeva,*

student

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: sofya-miheeva@mail.ru*

## **ВЛИЯНИЕ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

### **EFFECT OF POROUS AGGREGATES ON THE PLASTICITY OF CONCRETE MIX**

В статье исследуется степень и характер влияния керамзита на пластичность керамзитобетонной смеси, используемой при непрерывном безопалубочном формовании. Приведено описание используемых материалов, эксперимента и анализ полученных результатов. Экспериментально установлено, что на пластичность керамзитобетонной смеси главным образом влияет объемная концентрация заполнителя и его открытая пористость. Разработана новая математическая модель, позволяющая проектировать составы легкобетонных смесей с заданной предельной растяжимостью.

*Ключевые слова:* керамзит, керамзитобетонная смесь, пластичность, предельная растяжимость.

The article examines the degree and nature of the influence of expanded clay on the plasticity of expanded clay concrete mixture used in continuous formless moulding. A description of the materials used, the experiment, and analysis of the results obtained. It has been experimentally established that the plasticity of expanded clay concrete mixture is mainly influenced by the volume concentration of the aggregate and its open porosity. A new mathematical model has been developed with which to design compositions of light concrete mixtures with a given ultimate tensibility.

*Keywords:* expanded clay, expanded clay concrete mix, plasticity, ultimate tensibility.

Технология непрерывного безопалубочного формования является одной из перспективных технологий изготовления бетонных и железобетонных изделий [1], однако её развитие сдерживается рядом проблем. Одной из ключевых проблем является необходи-

мость регулирования пластичности бетонной смеси, которая отвечает за процесс трещинообразования свежеотформованного изделия при деформировании [2]. Регулировать пластичность смеси можно за счёт изменения её рецептуры с помощью существующей математической модели (1), которая позволяет спрогнозировать пластичность тяжёлой и мелкозернистой бетонной смеси [3].

$$\varepsilon^{\text{пп}} = 11,7 \cdot \left( B / \Pi_{\text{ист}} - НГ \right) + 0,032 \cdot \left( \phi^{\text{ир}} - 37 \right)^3 + 137, \quad (1)$$

где  $\varepsilon^{\text{пп}}$  – предельная растяжимость бетонной смеси, мм/м;  $B/\Pi_{\text{ист}}$  – истинное водоцементное отношение, %;  $НГ$  – нормальная густота цемента, %;  $\phi^{\text{ир}}$  – объёмная доля цементного теста в смеси, %.

Предварительные исследования, в которых сравнивались значения предельной растяжимости легкобетонной смеси, измеренные в лаборатории и полученные расчётоно (табл. 1), показали полную неприменимость существующей математической модели к легкобетонным смесям.

Таблица 1  
Сравнение значений предельной растяжимости

№ состава	Предельная растяжимость $\varepsilon^{\text{пп}}$ , мм/м	
	Измеренная в лаборатории	Полученная по существующей модели
0,1	202	80
0,2	157	-57
0,3	166	75
0,4	184	-105

Применение существующей математической модели к бетонным смесям на пористом заполнителе привело к результатам далёким от лабораторных и зачастую аномальным: в составах № 0,2 и № 0,4 расчётная предельная растяжимость достигла отрицательных значений. Из чего можно сделать вывод, что данная модель носит эмпирический

характер и справедлива в ограниченной области, в пределах которой была создана. Существует необходимость в развитии модели с учётом специфики пористых заполнителей. Цель работы: установить степень и характер влияния керамзита на предельную растяжимость керамзитобетонной смеси.

Для исследования влияния пористого заполнителя на пластичность легкобетонной смеси были проведены эксперименты с использованием материалов, представленных в табл. 2, 3, 4.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (табл. 2). В качестве мелкого заполнителя – кварцевый песок нормального гранулометрического состава (табл. 3). В качестве крупного заполнителя – три вида керамзита К1, К2 и К3 с маркой по насыпной плотности М450, М250 и М500 соответственно (табл. 4).

*Таблица 2*

**Основные характеристики вяжущего заполнителя**

Показатель	Значение
Маркировка	ЦЕМ I 42,5 Н
Нормальная густота, %	31
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	320
Средняя активность в возрасте 2 суток, МПа	23,1
Средняя активность в возрасте 28 суток, МПа	52,8

*Таблица 3*

**Основные характеристики мелкого заполнителя**

Показатель	Значение
Модуль крупности	2,2
Водопотребность, %	7
Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	2600
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1554

Таблица 4

**Основные характеристики крупного заполнителя**

Показатель	Значение		
Условное обозначение	K1	K2	K3
Марка по насыпной плотности	M450	M250	M500
Водопоглощение по массе в возрасте 2 суток, %	20	53	20
Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	1156	331	822
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	450	173	456
Открытая пористость, %	22,8	17,5	16,7

С целью установить степень и характер влияния керамзита на предельную растяжимость керамзитобетонной смеси были приготовлены и испытаны шесть составов, представленных в табл. 5, которые отличались объёмной долей и видом керамзита.

Таблица 5

**Составы**

№ состава	Используемый керамзит	Объемная доля керамзита, %	Фактический состав на м <sup>3</sup> смеси, кг				Фактическая плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>
			Цемент	Песок	Вода	Керамзит	
1.1	–	0	551	1374	291	–	2215
1.2	K1	16	390	975	207	185	1758
1.3	K1	28	344	861	183	327	1715
1.4	K2	23	408	1019	216	75	1718
1.5	K2	42	371	928	197	139	1635
1.6	K3	39	336	839	178	319	1671

Определялась предельная растяжимость смеси с помощью прибора [4], который позволяет изгибать свежеотформованную бетонную смесь в виде балки размерами  $280 \times 70 \times 70$  мм до образования видимой трещины в растянутой зоне и фиксировать критический прогиб, который затем пересчитывается в предельную растяжимость [5–6].

Из полученных экспериментальных данных, представленных в табл. 6 и на рис. 1 видно, что пористый заполнитель снижает предельную растяжимость смеси. Однако, керамзит К2 и К3 с марками по насыпной плотности М250 и М500 соответственно влияют на предельную растяжимость керамзитобетонной смеси примерно одинаково, что видно на рис. 1.

Таблица 6

**Результаты испытаний на предельную растяжимость**

№ состава	Используемый керамзит	Объемная доля керамзита, %	$\varepsilon_{\text{пр}}$ , мм/м
1.1	—	0	220
1.2	К1	16	202
1.3	К1	28	157
1.4	К2	23	166
1.5	К2	42	184
1.6	К3	39	175

Несмотря на различия по насыпной плотности в 2,6 раза, открытая пористость у них оказалась примерно равной: 17,5 и 16,7 %. Из этого можно сделать вывод, что определяющим свойством керамзита с точки зрения пластиичности является не насыпная плотность и марка по плотности, а его открытая пористость. Именно она определяет угловой коэффициент  $k$  зависимости предельной растяжимости смеси от объёмной концентрации керамзита.

Для оценки влияния открытой пористости  $\Pi_{\text{отк}}$  на угловой коэффициент  $k$  было проведено сравнение полученных эксперимен-

тальных данных на пористом заполнителе – керамзите (К1, К2, К3) с экспериментальными данными на плотном заполнителе – щебне (Щ) (рис. 2).

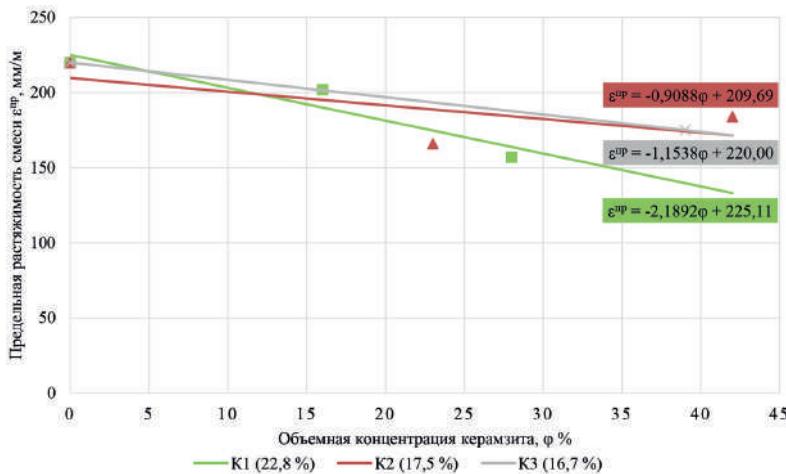


Рис. 1. Влияние количества керамзита на предельную растяжимость смеси

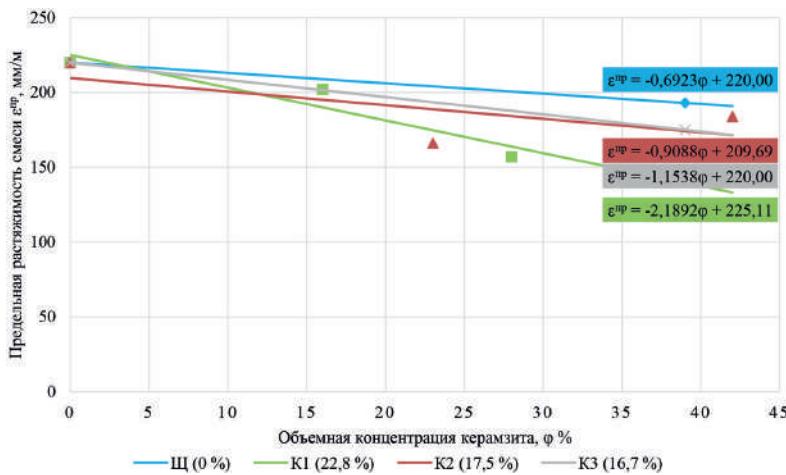


Рис. 2. Влияние количества заполнителя на предельную растяжимость смеси

Из рис. 2 видно, что чем больше открытая пористость заполнителя, тем меньше угловой коэффициент  $k$ . На рис. 3 представлена зависимость углового коэффициента  $k$  от открытой пористости заполнителя  $\Pi_{\text{отк}}$  (%).

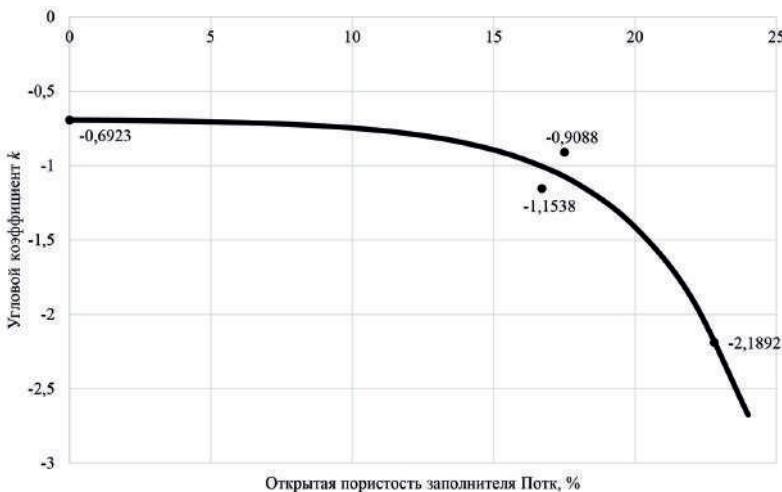


Рис. 3. Влияние углового коэффициента от открытой пористости заполнителя

Из рис. 3 видно, что влияние открытой пористости заполнителя на угловой коэффициент не линейное и описывается уравнением (3), где угловой коэффициент  $k$  становится меньше по мере увеличения открытой пористости  $\Pi_{\text{отк}}$  заполнителя.

$$k = - \left( 0,0047 \cdot e^{0,252 \cdot \Pi_{\text{отк}}} + 0,688 \right), \quad (3)$$

где  $k$  – угловой коэффициент;  $\Pi_{\text{отк}}$  – открытая пористость керамзита, %.

Поскольку на предельную растяжимость керамзитобетонной смеси влияет открытая пористость и объёмная концентрация заполнителя, то существующую математическую модель для тяжёлых и мелкозернистых бетонных смесей можно дополнить (4).

$$\varepsilon_{\text{кбс}}^{\text{пп}} = \varepsilon_{\text{п-па}}^{\text{пп}} - (0,0047 \cdot e^{0,252 \cdot \Pi_{\text{отк}}} + 0,688) \cdot \varphi, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{\text{кбс}}^{\text{пп}}$  – предельная растяжимость керамзитобетонной смеси, мм/м;  $\varepsilon_{\text{п-па}}^{\text{пп}}$  – предельная растяжимость растворной части по уравнению 1, мм/м;  $\varphi$  – объемная концентрация керамзита, %;  $\Pi_{\text{отк}}$  – открытая пористость керамзита, %.

Полученные экспериментальные и расчётные значения предельной растяжимости керамзитобетонной смеси по новой математической модели представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Экспериментальные и расчётные значения предельной растяжимости керамзитобетонной смеси**

№ состава	Предельная растяжимость $\varepsilon^{\text{пп}}$ , мм/м	
	Измеренная в лаборатории	Полученная по новой модели
1.2	202	188
1.3	157	163
1.4	166	198
1.5	184	178
1.6	175	184

Средняя ошибка аппроксимации между расчётными и экспериментальными значениями составляет 4,9 %, что не превышает максимально допустимое значение в 10 % и говорит о хорошем качестве составленной математической модели. Данную модель можно использовать для определения предельной растяжимости керамзитобетонной смеси расчётным путём.

### Заключение

1. Главными факторами, влияющими на предельную растяжимость керамзитобетонной смеси, являются открытая пористость и объёмная концентрация заполнителя.

2. Влияние открытой пористости и объёмной концентрации керамзита на предельную растяжимость поддаётся математическому обобщению, для чего разработана и успешно проверена математическая модель пластичности керамзитобетонной смеси.

### **Литература**

1. Вагнер Е. С., Сутруненко Е. Ю. Безопалубочное формование как перспективная технология производства ЖБИ // Достижения вузовской науки. 2014. № 9. С. 108–113.
2. Пухаренко Ю. В., Хренов Г. М. Задачи технологической механики в развитии способов безопалубочного формования // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 152–157.
3. Хренов Г. М. Моделирование пластических свойств бетонной смеси // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 49–57.
4. Патент № 2677234 РФ, МПК G01N 3/28. Способ определения пластичности бетонной смеси и устройство для его осуществления / Хренов Г. М., Пухаренко Ю. В. Опубликовано 16.01.2019.
5. Хренов Г. М. Метод определения пластичности бетонных смесей // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 147–154.
6. Хренов Г. М. Методика определения пластических свойств бетонных смесей для безопалубочного формования // Актуальные проблемы строительства: материалы 70-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства»: в 3 ч. – 2017. – Ч. 1. – с. 139–145.

## **СЕКЦИЯ АРХИТЕКТУРНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**УДК 727.012**

*Людмила Сергеевна Арtyухова,  
ассистент*

*Ирина Анатольевна Чернышкова,  
доцент  
(Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платова*

*E-mail: neponyatnaya93@mail.ru,  
chernyshkova.irina@mail.ru*

*Lydmla Sergeevna Artyukhova,  
assistant lecturer*

*Irina Anatolyevna Chernyshkova,  
Associate Professor  
(M. I. Platov South-Russian  
State Polytechnic  
University)*

*E-mail: neponyatnaya93@mail.ru,  
chernyshkova.irina@mail.ru*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ АКУСТИКИ АТРИУМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ЕСТЕСТВЕННЫМИ МЕТОДАМИ**

### **OPTIMIZATION OF ACOUSTICS OF ATRIUM SPACES BY NATURAL METHODS**

На основе анализа опыта работы с атриумом «Крытого двора» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова (далее – ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова) и сравнения с Варшавским политехническим университетом, находящимся в г. Варшава, в Польше в статье предлагаются практические решения для улучшения акустики естественными методами в больших атриумах. В частности, рассматривается применение акустических панелей ЭхоКор в качестве эффективных объемных звукопоглощающих элементов, которые одновременно выполняют эстетическую функцию.

*Ключевые слова:* атриум, диффузность звукового поля, время реверберации, трансформируемые конструкции, объемные звукопоглотители.

Based on the analysis of the experience of working with the atrium of the “Covered Courtyard” of the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov, (hereinafter referred to as the South Russian State Polytechnic University (NPI)) and a comparison with the Warsaw University of Technology in Warsaw, Poland, the article proposes practical solutions for improving acoustics using natural methods in large atriums. In particular, it considers the use of EchoCor

acoustic panels as effective volumetric sound-absorbing elements that also serve an aesthetic function.

*Keywords:* atrium, sound field diffusion, reverberation time, transformable structures, and bulk sound absorbers.

Главный корпус Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова (далее – ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова) имеет великолепную планировочную особенность – Крытый двор (рис. 1). Это привлекательное и значимое место, которое объединяет студентов, преподавателей и горожан. Атриум является важной частью учебной и общественной жизни университета, служит его «визитной карточкой» и центром проведения мероприятий и встреч.

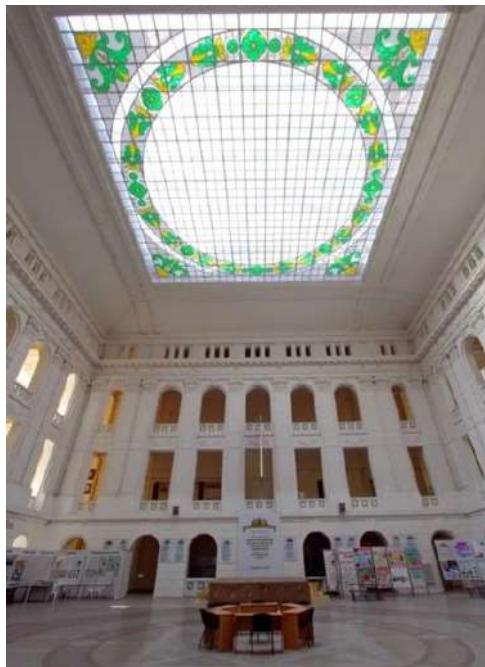


Рис. 1. Крытый двор ЮРГПУ (НПИ)  
им. М. И. Платова. Общий вид

Комплекс зданий ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова является памятником архитектуры и объектом культурного наследия, который был спроектирован польским архитектором-строителем Варшавского политехнического института Рогуйским С. Б. Проект ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова, ранее Донского политехнического института (далее – ДПИ) был разработан с учетом опыта, накопленного им в ходе многолетнего изучения архитектуры учебных заведений в странах Западной Европы. Аналогичный атриум украшает и здание Варшавского политехнического университета (рис. 2).

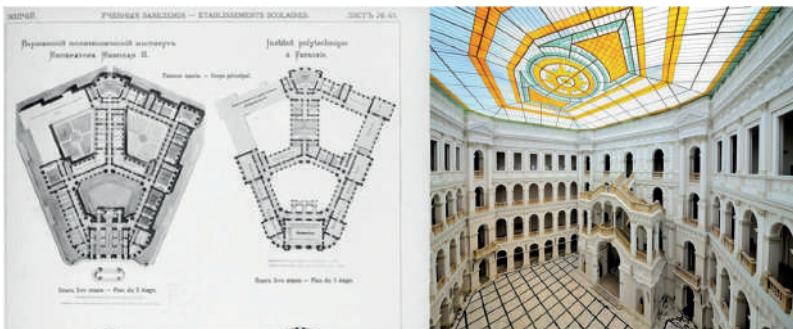


Рис. 2. Атриум Варшавского политехнического университета.

План 3-го этажа и общий вид

План крытого двора Варшавского политехнического университета – пятиугольной формы, что существенно влияет на диффузность звукового поля и соответственно на улучшение его акустических качеств.

Объем атриума ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова образован тремя уровнями проемов, раскрытыми в обходные галереи, план – квадратной формы. Все ограждающие поверхности являются звукоотражающими. Известно, что гладкие большие поверхности ограждающих конструкций залов не способствуют достижению хорошей диффузности звукового поля. Особенно нежелательны гладкие, параллельные друг другу плоскости, вызывающие эффект «порхающего эха», получающегося в результате многократного отражения

звука между ними. Анализ основных габаритных размеров и формы плана «Крытого двора» ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова показывает, что помещение атриума с точки зрения акустики имеет ряд недостатков. Размеры рассматриваемого атриума следующие (рис. 3):

- высота помещения – 19,8 м;
- длина помещения – 29 м;
- ширина помещения – 29 м;
- воздушный объем зала – 16 600 м<sup>3</sup>.

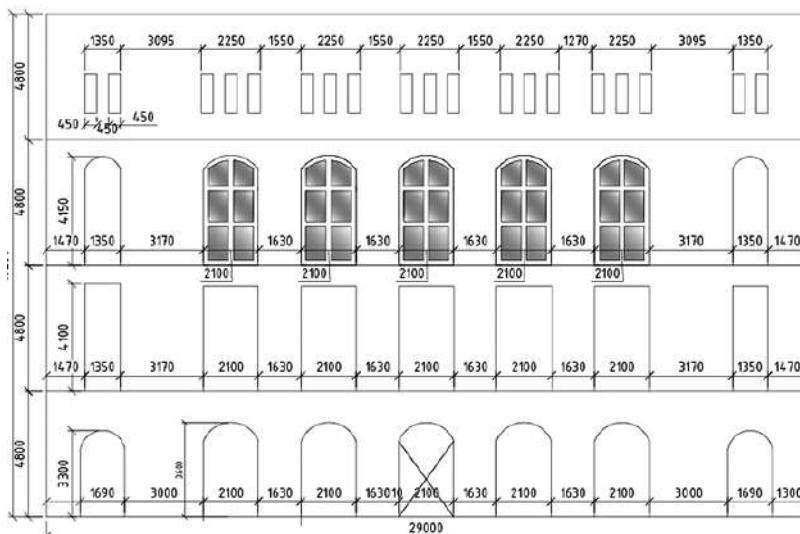


Рис. 3. Фрагмент стены «Крытого двора» ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова

Акустические проблемы в атриуме (рис. 3) вызваны его объемно-планировочным решением, поскольку большинство его параметров не соответствует требованиям СП 51.13330.2011 (актуализированная редакция 2021 г., п. 13.2). Единственный параметр, отвечающий нормативам, – это соотношение длины и ширины зала, равное 1,00 [2]. При таких параметрах естественно наблюдается значительное нарушение диффузности звукового поля, а время реверберации на много отличается от оптимального.

При предварительном расчете по известной формуле Эйринга при заполнении зала на 70 % время реверберации для частоты 500 Гц получилось равным 2,35 сек. В соответствии со СП 51.13330.2016 для залов многоцелевого назначения объемом более 16000 м<sup>3</sup> рекомендуемое время реверберации должно быть 1,8–1,9 сек [5].

Поскольку комплекс зданий ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова является памятником архитектуры, его ограждающие поверхности не должны быть изменены. В известных работах по корректировке акустики залов и атриумов предлагается использовать объемные звукопоглотители [1, 3]. Такие элементы – эффективное средство для борьбы с дефицитом звукопоглощения в области средних и высоких частот. Благодаря своей универсальности, они могут применяться как в качестве единственного решения, так и в сочетании с другими акустическими материалами и конструкциями. Кроме того, объемные звукопоглотители, в сравнении с плоскими, обеспечивают более широкую полосу эффективного звукопоглощения. Дополнительным преимуществом является возможность их размещения в непосредственной близости от источника звукового излучения. В рамках упрощенной модели, объемные объекты аппроксимируются цилиндрической геометрией. Звукопоглащающие свойства объекта определяются средним импедансом его поверхности и геометрическими характеристиками, в частности, радиусом ( $r$ ). Зависимость частотной характеристики звукопоглощения от радиуса ( $r$ ) обуславливает смещение максимума поглощения в область низких или средних частот.

Используя графики и nomogramмы, можно провести ориентировочною оценку одного из объектов [4].

Для эффективного звукопоглощения объемные поглотители следует размещать на оптимальных расстояниях, учитывая их зоны влияния. Зона влияния определяется как область, в которой звукопоглотитель оказывает существенное воздействие на звуковое поле, снижая его интенсивность. На величину зоны, в которой звукопоглащающее устройство оказывает влияние на акустику помещения, влияют три основных фактора: его геометрические параметры, акустические свойства материалов и частота звука (см. таблицу).

### Расчет оценки одного из объемных звуконглотителей

Частота звука $f, \text{Гц}$	Волновое число $k_r$	Коэффициент, учитывающий из-за явления дифракции при заданном значении $a_0$	Коэффициент, учитывающий возрастание из-за явления дифракции при за-данном значении $b$	Условный коэффициент звукопоглощения поверхности цилиндра $a_y$	Площадь поверхности цилиндра $S, \text{м}^2$	Эквивалентная площадь звукопоглоще-ния отдельно стоящего скульптурного объекта, $\text{м}^2$ $A_s$
125	1,14	0,4	2,1	0,84	16,5	13,9
250	2,3	0,65	1,7	1,1	16,5	18,2
500	4,6	1	1,5	1,5	16,5	24,8
1000	9,2	1	1,4	1,4	16,5	23,1
2000	18,4	1	1	1	16,5	16,5
4000	36,8	1	1	1	16,5	16,5

Эффективные звукопоглощающие материал предлагает фирма ЭхоКор, например, BASOTECT®. Коэффициент звукопоглощения  $\alpha_s$  в зависимости от толщины материала (20, 40, 50, 60 мм) показан на графике (рис. 4).

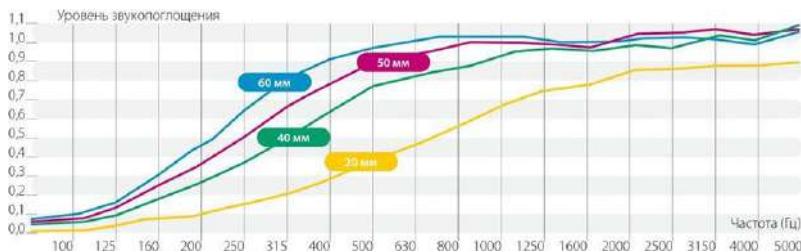


Рис. 4. Уровни звукопоглощения BASOTECT® G.  
Коэффициент звукопоглощения  $\alpha_s$  BASOTECT®

Произведем сравнение неорганических покрытий для дальнейшего выбора оптимального варианта (табл. 1). Объемные передвижные элементы должны поддерживать особый художественный образ торжественности, величественности, монументальности, присущий атриуму «Крытого двора» ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова. В целях акустической коррекции и сохранения уникального художественного образа «Крытого двора» был предложен один из вариантов реализации передвижных объемных элементов. Эти элементы имеют форму прямого прямоугольного параллелепипеда, а их детализация в виде членений соответствует рустовке стен (рис. 5).



Рис. 5. Объемные звукопоглощающие элементы  
в атриуме ЮРГПУ(НПИ) им. М. И. Платова

## **Заключение**

Оптимизация акустики атриумных пространств с использованием естественных методов представляет собой перспективное направление в архитектурно-строительной практике. Подвижные акустические элементы открывают новые возможности в дизайне звукового пространства, делая современные здания более удобными и функциональными. Несмотря на существующие трудности с ценой и сложностью внедрения, их способность менять акустику помещения под нужды пользователей делает их ключевым элементом для создания гибких и «умных» зданий. Дальнейший прогресс в материалах, робототехнике и развитие искусственного интеллекта позволит использовать их шире и эффективнее, приближая нас к будущему адаптивной архитектуры.

## **Литература**

1. Борисов Л. А., Градов В. А., Насонова Е. В., Щиржецкий Х. А. Особенности обеспечения акустического комфорта в помещениях современных атриумов // Строительные науки, 2008. № 4. С. 84–86.
2. СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Москва : Минстрой России, 2018. 26 с.
3. Пособие по расчету и проектированию многослойных звукопоглощающих систем (конструкций) (к СНиП II-12-77), НИИСФ Госстроя СССР. Москва : Стройиздат, 1987. 33 с.
4. Чернышкова И. А., Бузало Н. А. Акустика помещений атриумов // Вестник МГСУ, 2011. № 3, С. 113–116.
5. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Москва : Минрегион России, 2010. 43 с.

**УДК 699.86**

Константин Андреевич Буманов,  
магистрант  
Михаил Геннадиевич Плюснин,  
канд. техн. наук, доцент  
(Костромская государственная  
сельскохозяйственная академия)  
*E-mail:* konstantinbumanov@ya.ru,  
apraiser3@yandex.ru

Konstantin Andreevich Bumanov,  
Master's degree student  
Mikhail Gennadievich Plyusnin,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Kostroma State  
Agricultural Academy)  
*E-mail:* konstantinbumanov@ya.ru,  
apraiser3@yandex.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА КАРКАСНОГО ДОМА**

### **MODELING OF HEAT AND MOISTURE EXCHANGE PROCESSES IN A FRAME HOUSE**

В статье описывается численное исследование теплотехнических процессов в ограждающих конструкциях деревянного каркасного дома. Анализ полученных результатов показывает возможность отказа от использования пароизоляционных барьеров в ограждающих конструкциях каркасных домов.

*Ключевые слова:* каркасный дом, деревянная стена, теплопроводность, влажность, точка росы.

The article describes a numerical study of thermal engineering processes in the enclosing structures of a wooden frame house. The analysis of the obtained results shows the possibility of abandoning the use of vapor barriers in the enclosing structures of frame houses.

*Keywords:* frame house, wooden wall, thermal conductivity, humidity, dew point.

### **Введение**

Каркасное строительство – это технология возведения домов, в основе которых лежит несущий каркас [1, 2]. Обычно он состоит из деревянных стоек или металлических профилей и служит опорной конструкцией для стен, крыши и других элементов здания [2].

Пространство между балками заполняют утеплителем, который затем, как правило, закрывают защитными мембранами и обшивают отделочным слоем [3]. Менее распространённым вариантом является заполнение каркаса различными видами органоминеральных композитов (арбалит, опилкобетон и др.) [4].

Некоторые преимущества каркасного строительства:

- быстрое возведение здания;
- относительно невысокая стоимость возведения;
- каркас может быть выполнен из разных материалов: дерево, металлопрокат, ЛСТК (лёгкие стальные тонкостенные конструкции), железобетон;
- низкие затраты по эксплуатации дома;
- ремонтопригодность;
- возможность обеспечить высокую энергоэффективность дома;
- готовность к эксплуатации сразу после окончания строительства, не требуется время на усадку [5] и др.

**Недостатки каркасного строительства:**

**1. Пожароопасность.** Основной материал каркаса – дерево – горюч. Но при соблюдении правил строительства, а также обработке дерева антипиренами риск многократно снижается. А самый распространённый утеплитель – каменная вата – относится к классу неторючих материалов.

**2. Относительная недолговечность.** Грибок, насекомые или плесень могут сократить срок жизни здания, построенного большей частью из дерева.

**3. Необходимость вентиляции, низкая тепловая инерция.** Наиболее распространённые варианты исполнения ограждающих конструкций каркасных домов, имеющие в своём составе воздухонепроницаемые пароизоляционные плёнки, требуют для поддержания необходимых параметров микроклимата интенсивной вентиляции. Это требует расхода энергии на подогрев поступающего наружного воздуха, что существенно снижает энергоэффективность. При монтаже внутренних обшивок стен пароизоляционные плёнки могут повреждаться, что приводит к увлажнению утеплителей и ухудшению их теплотехнических характеристик. Лёгкие материалы ограждающих конструкций быстро нагреваются и быстро остывают, что так же негативно влияет на параметры микроклимата в каркасных домах.

Здание должно не только служить убежищем, но и создавать комфорт и поддерживать здоровье [6].

Таким образом, дома, построенные по каркасной технологии, неприхотливы в обслуживании, демонстрируют высокие эксплуатационные и энергосберегающие показатели. По сравнению с монолитными, кирзовыми, панельными домами, каркасные здания выгодно отличаются стоимостью из-за относительной дешевизны применяемых строительных материалов. Однако, наиболее распространённые варианты ограждающих конструкций имеют недостатки, снижающие комфортность таких домов. Гипотезой данного исследования является предположение, что использование относительно массивных материалов в качестве внутренних слоёв ограждающих конструкций каркасного дома позволит отказаться от применения пароизоляции и улучшит параметры микроклимата в помещениях. Первым этапом исследования и, соответственно, целью настоящей работы, является оценка возможности создания многослойной стены и энергоэффективным утеплителем без использования пароизоляционных плёнок.

### **Материалы и методы исследования**

Для моделирования процессов тепловлагопереноса в каркасной стене используется, конечно, элементная модель, созданная в ПК COMSOL Multiphysics. Модель учитывает движение водяного пара внутри конструкции и влияние влажности материалов на их теплопроводность (т.е. теплообмен между частицами тела, находящимися в непосредственном соприкосновении друг с другом [7]).

Поэтому для получения полной картины работы тепловой защиты здания мы применяем компьютерные 3D-модели, результаты расчета которых предоставляют нам более точные результаты, чем нормативные документы, а также возможность увидеть работу тепловой защиты в любой точке конструкции. Помимо этого, работа с компьютерными моделями позволяет значительно сэкономить время на расчет конструкций, а также расширяет возможности экспериментирования с материалами и условиями их работы [8].

В качестве исследуемой модели принята упрощённая конструкция деревянной стены каркасного дома, состоящая из двух слоёв с разными теплотехническими характеристиками (рис. 1). Первый

слой со стороны помещения имеет большую теплопроводность и теплоёмкость, и меньший коэффициент паропроницаемости по сравнению со вторым слоем. В качестве первого слоя принята гипсовая панель, а в качестве второго слоя минераловатный утеплитель. Рассмотрено два варианта толщины слоёв: 1 слой – 1 см и 5 см. Толщина второго слоя, минераловатного утеплителя в обоих вариантах постоянна и равна 15 см.

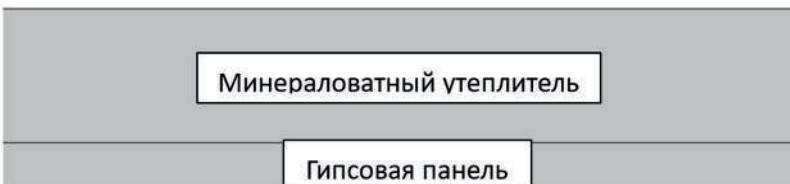


Рис. 1. Конструкция стены каркасного здания

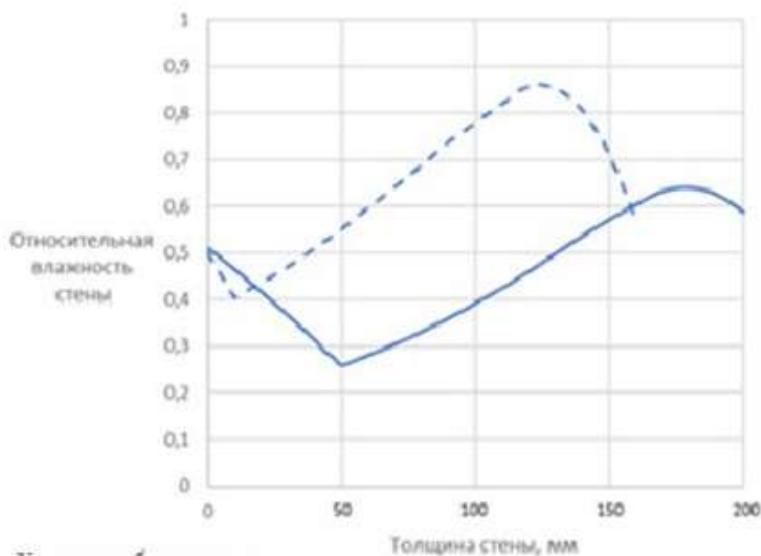
Расчёты проводились при следующих исходных данных:

1. Наружная температура –  $-20^{\circ}\text{C}$ ;
2. Внутренняя температура –  $20^{\circ}\text{C}$ ;
3. Наружный коэффициент теплопередачи –  $25 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;
4. Внутренний коэффициент теплопередачи –  $8 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;
5. Относительная влажность воздуха снаружи стены – 0,8;
6. Относительная влажность воздуха внутри помещения – 0,5.

### Результаты исследования

В результате расчётов получены распределения температуры и влажности по толщине стены в стационарном режиме тепловлагопереноса в соответствии с исходными данными. На рис. 2 показаны графики распределения относительной влажности по толщине стены для рассмотренных вариантов. Анализ этих графиков позволяет сделать вывод, что увеличение толщины внутреннего слоя стены, хуже уменьшить максимальное значение относительной влажности в толще основного утеплителя с 86 % до 64 % без использования специальных пароизоляционных барьёров. Таким образом, при определенных параметрах коэффициента паропроницаемости и толщины внутреннего слоя стены отказ от пароизоляции не при-

водит к конденсации влаги в утеплителе. Это позволяет конструировать ограждающие конструкции каркасных домов без использования пароизоляционных плёнок.



#### Условные обозначения:

- Сплошная линия – толщина внутреннего слоя 50 мм;
- Пунктирная линия – толщина внутреннего слоя 10 мм.

Рис. 2. Распределение относительной влажности по толщине стены

### Заключение

В результате проведённого моделирования показана возможность конструирования ограждающих конструкций каркасных домов без использования пароизоляции. Для разработки технических решений таких ограждающих конструкций необходимо провести дальнейшие исследования.

### **Литература**

1. Технологии строительства каркасных домов. – URL: <https://sk-druzhba.ru/articles/tekhnologiya-stroitelstva-karkasnyh-domov/> (дата обращения: 13.03.2025).
2. Как строится каркасный дом. – URL: <https://sk-druzhba.ru/articles/tekhnologiya-stroitelstva-karkasnyh-domov/> (дата обращения: 13.03.2025).
3. Каркасные дома: плюсы, минусы и ключевые особенности строительства. – URL: <https://kostroma.cian.ru/stati-karkasnye-doma-pljusy-minusy-i-kljuchevye-osobennosti-stroitelstva-337903/> (дата обращения: 13.03.2025).
4. Геворкян М. С. Использование опилкобетона в строительстве индивидуальных жилых домов / М. С. Геворкян // Научные приоритеты АПК в России и за рубежом : Сборник статей 72-й Международной научно-практической конференции [Караваево, 22 апреля 2021 года]. – Караваево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 300–307.
5. Каркасный дом. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B4%D0%BE%D0%BC/](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%BE%D0%BC/) (дата обращения: 13.03.2025).
6. Блэзи В. Справочник проектировщика. Строительная физика, 2022. С. 18–602.
7. Черныш Н. Д., Тарасенко В. Н. Строительная физика, 2009. С. 6–237.
8. Сальников В. Б., Беляков В. А. Теплотехнические расчеты строительных конструкций с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics, 2016. С 3–48.

**УДК 69.07**

Дмитрий Викторович Долбня,  
студент  
Игорь Васильевич Есауленко,  
ассистент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: dolbnia.d@yandex.ru,  
eivspbgasu@gmail.com

Dmitrii Viktorovich Dolbnia,  
student  
Igor Vasilievich Esaulenko,  
assistant lecturer  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: dolbnia.d@yandex.ru,  
eivspbgasu@gmail.com

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ  
ТИПОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ**

**OPTIMAL USE OF VARIOUS TYPES OF THERMAL  
INSULATION MATERIALS IN BUILDING STRUCTURES**

В статье рассматривается оптимальное применение различных типов теплоизоляционных материалов в зависимости от их расположения в частях здания (фундаменты, стены, перекрытия, крыша).

Рациональный подбор теплоизоляции является важным этапом проектирования и строительства здания. Все конструкции здания требуют индивидуального подбора утеплителя с учётом эксплуатационных, климатических и технических условий, что влияет на энергетический класс здания, устранение «мостиков холода».

*Ключевые слова:* энергоэффективность зданий, теплоизоляционные материалы, строительные конструкции, теплопроводность, паропроницаемость.

The article discusses the optimal use of various types of thermal insulation materials, depending on their location in parts of the building (foundations, walls, floors, roof).

Rational selection of thermal insulation is an important stage in the design and construction of a building. All building structures require an individual selection of insulation, taking into account operational, climatic and technical conditions, which affects the energy class of the building and the elimination of “cold bridges”.

*Keywords:* energy efficiency of buildings, thermal insulation materials, building structures, thermal conductivity, vapor permeability.

## **Введение**

В сложных климатических условиях России с резкими перепадами температур и высокой влажностью энергоэффективность зданий критически важна для комфорта и экономии ресурсов. Правильно подобранная теплоизоляция не только оптимизирует микроклимат, но и снижает энергопотребление, продлевая срок службы конструкций. Согласно требованиям СП 50.13330.2012 [1] и ГОСТ 31913–2011 [2], выбор теплоизоляционного материала требует комплексной оценки: теплопроводности ( $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$ ), водопоглощения, паропроницаемости ( $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ ), а также показателей пожаробезопасности [3], экологичности и долговечности. Не менее важной является экономическая целесообразность [4].

Эффективность применения того или иного материала напрямую зависит от его физико-технических показателей. Для последующего детального анализа применимости в различных конструкциях здания в таблице приведены сводные характеристики наиболее распространённых типов теплоизоляции.

## Основные параметры теплоизоляционных материалов

Материал	Тепло-проводность ( $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ )	Водопоглощение	Паропроницаемость ( $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ )	Класс отстойности	Экологичность	Срок службы (лет)
Минеральная вата	0,036–0,038	Высокое	0,3–0,6	НГ (неторочий)	Зависит от связующего	25–50
Стекловата	0,038–0,046	Высокое	0,4–0,7	НГ (неторочий)	Зависит от связующего	25–50
Пенопласт (ППС)	0,035–0,045	Низкое	0,2–0,5	Г4 (сильногорючий)	Относительно низкая	15–30
Пенополистирол (EPS)	0,037–0,049	Низкое	0,02–0,05	Г3–Г4 (нормально- и сильногорючий)	Относительно низкая	15–30
Экструдированный пенополистирол (XPS)	0,029–0,035	Очень низкое	0,005–0,007	Г4 (сильногорючий)	Относительно низкая	30–50
Пенополиуретан (ППУ)	0,035–0,041	Низкое	0,02–0,05	Г2–Г3 (умеренно горючий)	Относительно низкая	20–40
Пеностекло	0,04–0,08	Низкое	0,005	НГ (неторочий)	Высокая	100+
Эковата	0,038–0,042	Среднее	1,0–1,5	Г1–Г2 (слабогорючая с антиприемами)	Высокая	30–60

### **Утепление фундаментов и отмосток**

При утеплении фундаментов и отмосток теплоизоляционный материал, располагается в контакте с грунтом и подвергается экстремальным эксплуатационным нагрузкам (механическое давление, циклы замораживания-оттаивания, химическое воздействие грунтовых вод). Вследствие этого необходимо использовать материалы, устойчивые к влаге, биологическому и химическому воздействию, обладающих высокой долговечностью и достаточной жёсткостью.

Наиболее предпочтительными вариантами являются полимерные утеплители пенопласт (ППС), пенополистирол (EPS), экструдированный пенополистирол (XPS), пенополиуретан и пеностекло [5]. При всех преимуществах пеностекла его применение существенно ограничено крайне высокой стоимостью, превосходящей в 5–8 раз полимерные аналоги. Среди полимерных материалов экструдированный пенополистирол (XPS) представляет собой оптимальный выбор благодаря комплексу характеристик: высокой влагостойкости, повышенной прочности на сжатие, доступной стоимости, упрощённой технологией монтажа.

### **Утепление наружных стен**

При утеплении наружных стен основополагающими качествами утеплителя являются пожаробезопасность, экологичность и сохранение стабильных теплотехнических характеристик в течение всего срока эксплуатации. Утепление стен целесообразно выполнять с использованием минеральной ваты (стекловаты), особенно её фасадной разновидности, которая отличается повышенной жёсткостью, предотвращающей сползание материала. Применение эковаты нежелательно вследствие высокой усадки и образования мостииков холода. Использование полимерных утеплителей для наружного утепления стен не рекомендуется из-за их горючести и низкой паропроницаемости, что может привести к ухудшению микроклимата в помещении и повреждению конструкций вследствие накопления конденсационной влаги.

### **Утепление перекрытий**

Утепление межэтажных перекрытий осуществляется с помощью минеральной ваты (стекловаты) или эковаты. Данные утеплители сочетают в себе отличные тепло- и звукоизоляционные свойства [6]. Предпочтительной является минеральная вата (стекловата) в следствии упрощённой технологией монтажа.

Для теплоизоляции перекрытия холодного чердака наиболее рационально применение жёстких плит минеральной ваты плотностью  $\geq 120 \text{ кг}/\text{м}^3$  [7], что исключает необходимость устройства дополнительной обрешётки.

В случае перекрытия по грунту оптимальным решением становится применение влагостойких, долговечных полимерных утеплителей (ППС, EPS, XPS).

### **Утепление крыши**

Утепление крыши должно выбираться в зависимости от её типа:

Для скатной крыши оптимальным вариантом является минеральная вата при условии качественной гидроизоляции. Также может быть использован пенополиуретан, который обладает низким водопоглощением и высокой адгезией, что обеспечивает надёжную теплоизоляцию.

Для плоской кровли выбор утеплителя зависит от её назначения: для эксплуатируемых конструкций и инверсионных кровлях оптimalен экструдированный пенополистирол благодаря высокой прочности на сжатие и практически нулевому водопоглощению, тогда как для неэксплуатируемых решений предпочтительны жёсткие плиты каменной ваты, обеспечивающие пожаробезопасность и паропроницаемость.

### **Заключение**

Проведённый анализ позволяет определить оптимальные решения для теплоизоляции различных конструкций зданий с учётом эксплуатационных требований и экономической целесообразности. Для фундаментов, отмосток и перекрытий по грунту наиболее рациональным выбором является экструдированный пенополистирол (XPS),

сочетающий влагостойкость, прочность, долговечность и простоту монтажа. В наружных стенах и перекрытиях приоритет следует отдавать минеральной вате, обеспечивающей пожаробезопасность, паропроницаемость и эффективную звукоизоляцию. Для кровельных конструкций выбор зависит от их типа: скатные крыши требуют минеральной ваты с надёжной гидроизоляцией, а плоские – специализированных решений на основе XPS или жёстких плит каменной ваты.

Грамотный подбор теплоизоляционных материалов с учётом их физико-технических характеристик и условий эксплуатации позволяет достичь энергоэффективности зданий, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить долговечность конструкций. Главным принципом является комплексный подход, учитывающий не только теплоизоляционные свойства, но и пожарную безопасность, экологичность и экономическую целесообразность применения материалов.

### **Литература**

1. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Москва : Минстрой России, 2024. 97 с.
2. ГОСТ 31913–2022. Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения. Москва : Российский институт стандартизации, 2022. 25 с.
3. ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. Москва : Стандартинформ, 1994. 18 с.
4. Беляева В. С., Хохлова Л. П. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий: Учеб. пособие для студ. вузов по спец. «Промышленное и гражданское строительство». Москва : Высш. шк., 1991. 255 с.
5. ГОСТ 15588–2014. Плиты пенополистирольные. Технические условия. Москва : Стандартинформ, 2014. 13 с.
6. ГОСТ 23499–2022. Материалы и изделия строительные звукоглощающие и звукоизоляционные. Общие технические требования. Москва : Российской институт стандартов, 2022. 16 с.
7. ГОСТ 4640–2011. Вата минеральная из горных пород. Технические условия. Москва : Стандартинформ, 2011. 12 с.

**УДК 693.98**

*Василий Викторович Сомов,*

студент

*Александра Викторовна Глухова,*

канд. архит., доцент

(Санкт-Петербургский

государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: svasya126@gmail.com,*

*iolanta71@yandex.ru*

*Vasily Viktorovich Somov,*

student

*Aleksandra Victorovna Gluhova,*

PhD in Arch., Associate Professor

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: svasya126@gmail.com,*

*iolanta71@yandex.ru*

## **МОДУЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ИНСТРУМЕНТ УСКОРЕННОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ В РОССИИ**

### **MODULAR CONSTRUCTION AS A TOOL FOR THE ACCELERATED DEVELOPMENT OF THE URBAN ENVIRONMENT IN RUSSIA**

В Российской Федерации, особенно в крупных мегаполисах и отдалённых регионах, строительный сектор сталкивается с рядом существенных проблем, одной из которых является продолжительный временной интервал реализации строительных проектов. Данные факторы оказывают значительное влияние как на экономическую составляющую, так и на эксплуатационные характеристики возводимых объектов и сооружений. В последние годы всё чаще в обсуждениях специалистов и общественности поднимается вопрос внедрения более эффективных и инновационных технологий в строительный процесс. Одной из таких технологий, способных существенно изменить индустрию, является технология модульного строительства.

*Ключевые слова:* модульное строительство, экологическая устойчивость, инновационные технологии, цифровизация строительных процессов, энергоэффективные решения.

In the Russian Federation, particularly in major urban centers and remote areas, the construction sector encounters several significant challenges, one of which is the prolonged duration of project execution. These factors substantially affect both the financial aspects and the functional performance of the erected facilities and constructions. In recent years, the issue of introducing more efficient and innovative technologies into the construction process has been increasingly raised in

discussions between specialists and the public. One such technology that can significantly change the industry is modular construction technology.

*Keywords:* modular construction, environmental sustainability, innovative technologies, digitalization of construction processes, energy-efficient solutions.

Модульное строительство – это метод возведения зданий, при котором постройка собирается из стандартных, заранее изготовленных модулей, которые могут быть использованы для различных типов объектов [1]. Каждый блок – это отдельная часть конструкции, уже оснащённая необходимыми коммуникациями и элементами отделки. Модули производятся в условиях завода, что позволяет обеспечить высокое качество и точность исполнения [2]. Модульный подход оптимизирует этапы проектирования, изготовления и установки, предоставляя гибкость в адаптации конструкций к индивидуальным потребностям. Более широко модульные системы применяются для возведения жилых домов, медицинских учреждений, школ и других общественных объектов, особенно в условиях дефицита земельных участков.

Метод модульной сборки зданий стремительно набирает обороты в современном строительстве, обещая высокий уровень производительности и привлекая внимание как специалистов, так и обычных граждан благодаря своим многочисленным преимуществам.

Этот метод позволяет добиться значительной экономии времени и средств при строительстве, не уступая при этом в качестве и строгому соблюдению стандартов безопасности [3].

Новая технология позволяет применять материалы, производство, транспортировка и сбор которых осуществляются с наименьшей затратой времени и ресурсов. В строительной отрасли всё активнее используются современные композитные материалы, среди которых углеродные и стеклопластиковые полимеры занимают значимое место. Благодаря сочетанию высокой прочности и малого веса такие материалы значительно упрощают процесс доставки и сборки строительных конструкций. Их высокая устойчивость к воздействию влаги, ультрафиолетового излучения и температурных изменений способствует увеличению долговечности зданий и продлевает срок их эксплуатации.

Экологическая устойчивость становится всё более значительным фактором в развитии строительной отрасли [4, 5]. Использование переработанных сырьевых материалов, таких как повторно применяемый бетон, переработанное стекло и пластик, позволяет сократить потребление первичных природных ресурсов и снижает выбросы углерода в процессе строительства. Применение этих материалов в модульном строительстве способствует созданию экологически чистых и долговечных зданий и сооружений, что существенно улучшает экологический имидж всей отрасли.

Инновационные технологии, такие как 3D-печать, расширяют возможности модульного строительства. Благодаря высокой точности трехмерной печати, производственные процессы становятся более совершенными, отходы сокращаются, а возможности проектирования расширяются за счет создания сложных конструкций, идеально отвечающих специфическим требованиям каждого проекта [4, 6]. Автоматизация и роботизация в блочном строительстве значительно ускоряют темп возведения объектов, гарантируя при этом безупречное качество модульных конструкций.

Роботизированные системы справляются как с простыми задачами, например, сборкой панелей, так и с более сложными операциями, таких как установка оконных конструкций и коммуникационных сетей. Внедрение цифровых технологий (в том числе блокчейн-технологий) повышает контроль над каждым этапом строительства, делая его более прозрачным и оптимизируя процессы логистики и управления.

Модульного строительства способствует интеграции экологически устойчивых и энергоэффективных решений [4–6]. Таким образом, активно применяются современные материалы с высокой теплоизоляцией, а также технологии пассивного отопления и охлаждения, что способствует значительному сокращению потребления энергии. Модульное строительство активно внедряет водосберегающие решения, что позитивно сказывается как на снижении расходов на содержание, так и на увеличении устойчивости сооружений к различным внешним факторам. Благодаря таким инновациям модульное строительство становится всё более привлекательным

и экологически чистым вариантом для возведения жилых и общественных объектов.

С учётом всех вышеупомянутых достоинств, модульное строительство становится все более актуальным решением для удовлетворения постоянно увеличивающегося спроса на жилье, общественные здания и инфраструктуры районов. Практика проектирования подтверждает эффективность данной технологии, демонстрируя ее успешное внедрение в разнообразные сферы, от возведения жилых комплексов до создания объектов социальной инфраструктуры, таких как больницы, школы и административные центры.

Практика проектирования подтверждает эффективность данной технологии, демонстрируя её успешное внедрение в разнообразные сферы – от возведения жилых комплексов до создания объектов социальной инфраструктуры, таких как больницы, школы и административные центры. Опыт зарубежных стран свидетельствует о результативности модульного строительства и открывает возможности для его успешной адаптации и применения в России.

Одним из ярких примеров применения модульной системы строительства служат автономные жилые блоки, созданные специалистами Colorado Outward Bound School в Колорадо (США) для круглогодичного проживания и отдыха [5] (см. рис. 1).



Рис. 1. Комплекс рекреационных жилых модулей, Колорадо, США.

*Источник:* URL: <https://ru.pinterest.com/pin/196962183688269401/>

Архитектурно-пространственные решения объекта формировалось под влиянием ряда важных факторов: его нахождения в заповедной зоне, на высоте, превышающей 3000 метров над уровнем моря, а также ограниченного доступа – единственной узкой лесной дороги, ведущей к комплексу. Данные условия значительно подействовали на выбор строительных материалов и технологию возведения. Конструкции выполнены в виде полностью сборных каркасных системы, а внутреннее оформление и мебель изготовлены из фанеры, что подчеркивает минимализм и доступность дизайна. Модули органично интегрированы в природный ландшафт, максимально используя рельеф участка, в том числе благодаря применению различных типов опорных систем. Кроме того, комплекс отличается разнообразием планировочных решений – представлено не менее семи вариантов жилых блоков, созданных на основе единого заводского модуля.

Отель «Travelodge» в Аксбридже, Великобритания также удачно сочетает в себе модульные конструкции [7] (см. рис. 2).



Рис. 2. Отель «Travelodge» в Аксбридже, Великобритания.  
Источник: URL: <https://id.pinterest.com/pin/474496510721513545/>

Строительная компания подсчитала, что применение модульных металлических конструкций и усовершенствованных сборных контейнеров позволило сэкономить более полумиллиона фунтов стерлингов при возведении отеля «Travelodge», по сравнению с традиционным строительным подходом, а также ускорило процесс строительства минимум на 10 недель. Как отметил заказчик, сокращение времени строительства при использовании модульной технологии составило 40–60 % по сравнению с классическим методом строительства.

В Финляндии можно обнаружить оригинальные решения в проектировании образовательных учреждений. Учебное заведение в Йоэнсуу – заметный пример компактной начальной школы [8] (см. рис. 3).



Рис. 3. Начальная школа в Йоэнсуу, Финляндия.

Источник: URL: <https://archello.com/project/joensuu-primary-school/>

Трёхэтажный корпус здания состоит из четырёх секций, объединённых центральным атриумом, а разнообразие цветовой гаммы фасадов облегчает навигацию внутри здания. Каждая секция строится вокруг центральной зоны-вестибюля, которая напрямую связана с атриумом. Входы в здание доступны с разных сторон. Из центрального атриума открываются панорамные виды на город в четырёх направлениях, что позволяет любоваться городской архитектурой.

Для облицовки фасадов были выбраны материалы с учётом расположения школы в центре и её роли как общественного центра. Комбинация тёмной меди и стекла подчёркивает современную урбанистическую эстетику. Территория вокруг школы сохранила имеющуюся растительность. Конструкция здания базируется на стальных колоннах, стены изготовлены из бетона с медным покрытием, а перекрытия между этажами выполнены из пустотных бетонных плит. Такая конструктивная система даёт возможность гибко изменять внутреннюю планировку.

Стихийные бедствия и связанные с ними техногенные катастрофы становятся всё более частыми явлениями. В условиях таких угроз одной из ключевых задач государства является создание пунктов временного размещения, которые могут оперативно представить пострадавшему населению жильё в кратчайшие сроки [9]. В связи с этим оправдано и целесообразно применение современных технологий для строительства мобильных быстровозводимых зданий, которые необходимы для оперативного развертывания пунктов временного размещения. В данном контексте главной целью таких объектов является как можно более быстрое возвращение пострадавших людей к обычному образу жизни.

Блочные конструкции предоставляют возможность создания разнообразных объектов, таких как производственные, административные, складские, общественные и жилые здания. Это, в свою очередь, дает возможность оборудовать пункты временного размещения всеми необходимыми для удобного проживания элементами инфраструктуры.

Модульное строительство в России находится на стадии активного развития, но пока не достигло широких масштабов внедрения [1]. Основными точками роста являются потребность в ускоренном возведении объектов (жильё, социальная инфраструктура), дефицит трудовых ресурсов и развитие технологий индустриального домостроения. Однако отрасль сталкивается с рядом ограничений: отсутствием нормативной базы, низким уровнем стандартизации и консерватизмом строительного рынка. Несмотря на это, растущий интерес со стороны государства и бизнеса, а также пилотные

проекты в рамках нацпроектов (например, «Жильё и городская среда») формируют предпосылки для масштабирования модульных решений в ближайшие годы. На данный момент этот подход уже успешно реализован в ряде значимых проектов – от современного медицинского центра в районе Первомайское и стандартных блочных медицинских учреждений в Республике Саха до отеля Holiday Inn в городе Воронеж [10].

### **Заключение**

Модульное строительство открывает новые перспективы в архитектуре и градостроительстве, предлагая эффективный способ решения актуальных проблем современной урбанизации. С ростом городов и острой необходимостью быстрого воплощения инфраструктурных объектов, модульные технологии демонстрируют свою эффективность: они позволяют возводить объекты с высокой скоростью без снижения качества и с сохранением архитектурной выразительности. Модульные конструкции особенно востребованы при возведении общественных объектов, таких как образовательные учреждения, детские сады, медицинские центры, гостиницы и другие объекты, ориентированные на социальные и культурные нужды социума. Для России, страны с обширной территорией, отличающейся разнообразием климатических условий и стремлением к быстрому развитию городских пространств, внедрение модульных технологий представляет собой перспективный путь к созданию функциональных, доступных и благоприятных для проживания и работы объектов.

### **Литература**

1. Сомов В. В., Глухова А. В. Модульное строительство. Перспективы развития технологий модульного домостроения в России // Инженерный вестник Дона. 2025. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9895/> (дата обращения: 25.05.2025).
2. Ким Д. А., Погосова Е. Б., Зуева М. К. Возможности модульной технологии домостроения // Инженерный вестник Дона. 2023. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8264/> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Сауков Д. А., Гинзберг Л. А. Современное модульное строительство // IV Международная конференция «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур». Safety2018, 2018. С. 69–82.

4. Балыев Г., Гаррыева А., Гурбангелдиева М. Экологические аспекты модульного строительства: устойчивость и энергоэффективность // Вестник науки. 2024. № 10(79). С. 478–481.
5. Лошаков П. И. Модульные быстровозводимые постройки. функциональные возможности и эффективность применения // Инновации и инвестиции. 2022. № 10. С. 182–187.
6. Ворачева А. С. Модульное строительство в России: перспективы и вызовы // XVI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая», 2024. URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2024/RM24/> pages/sections.htm/ (дата обращения: 25.05.2025).
7. Скворцов М. Е. Потенциал модульного строительства // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2021. № 3. С. 34–46.
8. Кудрявцева С. П., Долотказина Н. С. Модульное строительство образовательных учреждений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2017. № 1(19). С. 5–17.
9. Медведев Г. Н., Щеголькова В. В., Лагутина А. В., Шалимов Д. П. Перспективы применения в МЧС России быстровозводимых временных поселков из мобильных зданий для проживания пострадавшего в ЧС населения // Технологии гражданской безопасности. 2011. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-v-mchs-rossii-bystrovozvodimykh-vremenn/> (дата обращения: 25.05.2025).
10. Ищенко А. В., Малышев В. Д. Перспективы модульного строительства в России и других странах // Инженерный вестник Дона. 2024. № 12. URL: <http://wmv.ivdon.ru/tu/magazine/archive/n12y2024/9712/> (дата обращения: 25.05.2025).

**УДК 72.012**

Елизавета Тебиева,  
выпускник, архитектор  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: elizavet.tebieveva@gmail.com*

Elizaveta Tebieveva,  
graduate, architect  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: elizavet.tebieveva@gmail.com*

## **ЗАВТРАШНИЙ ДЕНЬ ФАСАДНЫХ РЕШЕНИЙ – В ГАРМОНИИ ЭСТЕТИКИ, СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

### **THE FUTURE OF FACADE SOLUTIONS: BALANCING AESTHETICS, TECHNOLOGY AND ENERGY EFFICIENCY**

В условиях реального климатического разнообразия стран СНГ традиционно применяемые фасады утрачивают эффективность. В статье рассматривается предложение оптимизации применяемых вентилируемых систем и предлагается переход к использованию климатически адаптивных оболочек (CABS), включая фасады с PCM и BIPV. Показано, как геометрия фасада влияет на микроклимат, и подчёркнута необходимость нормативных изменений. Адаптивные решения рассматриваются как путь к энергоэффективности и архитектурной выразительности в экстремальных климатических условиях Евразии.

*Ключевые слова:* адаптивные фасады, климатически адаптивная оболочка, энергоэффективность, PCM-материалы, BIPV-системы, фасадные технологии.

In conditions of real climatic diversity across the CIS countries, traditionally used facade systems are losing their effectiveness. The article examines the optimization of existing ventilated systems and proposes a shift toward climate-adaptive building envelopes (CABS), including facades with PCM and BIPV. It shows how facade geometry affects the microclimate and stresses the need for regulatory changes. Adaptive solutions are seen as a path toward both energy efficiency and architectural expressiveness in the extreme climates of Eurasia.

*Keywords:* adaptive facades, climate-adaptive envelope, energy efficiency, PCM materials, BIPV systems, facade geometry.

## **Введение**

Учитывая масштабы рассматриваемого региона, необходимо отметить, что архитектура стран СНГ развивается в условиях удивительного многообразия климата – от сибирских морозов до знойных, сухих степей Казахстана. Однако, зачастую фасадные решения стандартизированы, игнорируя региональные климатические особенности. Такая унификация приводит к значительным энергетическим потерям и снижению долговечности возводимых конструкций. Поэтому переход к климатически адаптивным фасадным системам становится не просто модой, а жизненной необходимостью.

## **Климатические ограничения традиционных фасадов в странах СНГ**

В последние два десятилетия вентилируемые фасады стали фактически стандартом в массовом и коммерческом строительстве практически во всех государствах СНГ. Благодаря относительной простоте монтажа, конструктивной гибкости и высоким показателям влагозащиты, они постепенно вытесняют фасады с мокрыми штукатурными слоями в большинстве возводимых объектов. Однако в контексте прогрессирующих климатических изменений, возникающих при экстремальных температурных колебаниях, повышенной солнечной радиации, а также усиливающихся требований к энергоэффективности, классические системы вентилируемых фасадов демонстрируют существенные ограничения. Теплотехнические расчеты показывают, что вентилируемые системы, с их типичным коэффициентом передачи  $0,35\text{--}0,40 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ , существенно уступают по энергоэффективности инновационным адаптивным фасадам, способным достигать показателей ниже  $0,25 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ , благодаря автоматической регулировке теплоизоляционных свойств в зависимости от воздействия внешних условий.

Ситуация усугубляется еще и тем, что даже современные фасадные решения, включая доминирующие на рынке вентилируемые системы, зачастую проектируются с прицелом на один доминирующий параметр – теплоизоляцию, или устойчивость к ветровым и снеговым нагрузкам. Однако в условиях широкого разнообразия

климатических поясов, характеризующихся комплексным воздействием экстремальных температурных колебаний, различной влажностью, высокой солнечной активностью, а также значительных механических нагрузок, такой подход демонстрирует свою несостоятельность. В этом направлении показательно и недавнее казахстанское исследование [1], в котором подчеркивается недостаточная эффективность статичных фасадных систем в условиях континентального климата. Энергетическое моделирование демонстрирует, что температурные колебания и сезонные перепады наружной среды создают повышенные тепловые нагрузки, с которыми не справляются конструкции с фиксированными теплотехническими характеристиками. Это укрепляет позицию о необходимости перехода к интеллектуальным фасадным оболочкам, способным адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям. Схожие выводы можно обнаружить и в исследованиях по моделированию климатически адаптивных оболочек в государствах Северной Европы [2] и в Китае [3], где отклонение оценки эффективности в ряде сценариев не превышало 10–15 %.

### **Архитектурная выразительность и адаптивность оболочек**

Эстетические и функциональные возможности вентилируемых фасадов определенно ограничены преобладанием модульных решений с типовыми облицовочными материалами – фиброцементными панелями, алюминиевыми композитами с текстурной имитацией, с типичной эффективностью ограждающего слоя на уровне  $R = 1,5\text{--}2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K})/\text{Вт}$ , что соответствует минимальным требованиям современных нормативов. Очевидно, что, из экономических соображений, архитектурная выразительность фасадов приносится в жертву: важные элементы пластической разработки – глубина откосов, сложные профили, игра светотени – либо упрощаются, либо полностью исключаются из проектных решений.

Альтернативой устоявшимся системам становятся сегодня адаптивные фасадные оболочки (CABS – Climate Adaptive Building Shells) – конструкции, способные изменять свои теплотехнические

свойства в ответ на воздействия внешних условий. В научной и проектной практике можно выделить три ключевых направления развития таких систем:

- фасады с регулируемой воздушной прослойкой, изменяющие сопротивление теплопередаче в зависимости от сезона: летом – для вентиляции, зимой – для обеспечения теплоизоляции;
- фасады с материалами фазового перехода (PCM – Phase Change Materials);
- фасады с перфорированными экранами.

Так, фасадные панели с PCM на основе парафина способны накапливать до 120–150 кДж/кг тепла, обеспечивая снижение пиковой тепловой нагрузки на 30–50 % в летний период [3]. Расчёт окупаемости для регионов Казахстана, при текущих тарифах, показывает срок 8–12 лет, что сопоставимо с европейскими реализациями (5–7 лет), но, вместе с тем, требует адаптации состава (повышение  $T_{melt}$  с 23°C до 28 °C). В условиях регионов Урала и Сибири, в ряде лабораторных разработок, гипсовые PCM – композиты демонстрируют теплоаккумуляцию 85–90 кДж/кг, при стоимости 20–25 \$/м<sup>2</sup>, что примерно в 2,3 раза дешевле типовых парафиновых аналогов. Однако, широкого промышленного внедрения таких материалов в странах СНГ пока не наблюдается.

Эффективность фасадных фотоэлектрических систем (BIPV – Building-Integrated Photovoltaics) в условиях континентального климата евразийского региона подтверждает существенные сезонные колебания. Согласно данными платформы ProfileSolar, разница между зимней (2,24 кВт·ч/кВт) и летней (7,39 кВт·ч/кВт) выработкой солнечной энергии в Алматы достигает трехкратного значения [4]. Низкий уровень инсоляции, неблагоприятный угол падения солнечных лучей и температурные потери, в холодное время года приводят к снижению КПД таких систем на 6–10 % по сравнению с расчетными годовыми показателями [5]. Это серьезно ограничивает экономическую эффективность таких решений без дополнительных стимулов и компенсационных механизмов. В сравнении с европейскими аналогами, где среднегодовая эффективность BIPV стабильно держится на уровне 12–14 % [6], это, вкупе с субсидиями и мягкими

климатическими условиями, делает технологически и экономически целесообразным внедрение фотоэлектрических фасадов.

Фасад завтрашнего дня стоит рассматривать не как статичную оболочку, а как активный элемент, участвующий в энергообмене здания, усиливающий его архитектурную идентичность и способный адаптироваться к климатической динамике региона.

### **Геометрия фасада как климатический инструмент**

Геометрия фасада является не только эстетическим, но значимым фактором формирования микроклимата здания, напрямую влияющим на его теплотехнические и светотехнические характеристики. В регионах с экстремальными климатическими условиями наблюдается тенденция к упрощению объемно-планировочных решений и сглаживанию пластики и геометрии фасадов. Мотивируется это соображениями конструктивной надежности и экономической целесообразностью, что не всегда соответствует принципам пассивной энергоэффективности. Практика проектирования и результаты моделирования подтверждают, что применение горизонтальных навесов и углублённых оконных откосов может существенно понизить температуру наружной поверхности стены. Например, исследование, проведенное Maria del Mar Barbero-Barrera в ходе термографического анализа фасадов в Андалусии [7], показало, что применение навесных элементов обеспечивает снижение температуры облицовки на 7 °C, улучшает теплоизоляционные характеристики здания и уменьшает теплопотери за счёт создания воздушного буфера под навесом. Эти результаты определенно коррелируются с моделями, проведенными в южном Казахстане, где ожидалось снижение внутренней температуры на 2–3 °C и уменьшение зимних теплопотерь на 10–12 %.

Парадоксальным образом, именно эти, проверенные временем, решения оказываются исключенными из современных проектов в погоне за унификацией и минимизацией строительных затрат.

Как подчёркивает Бранко Коларевич [8] в своем исследовании, выраженная пластика фасада, формируемая не декоративно, а функционально, становится инструментом климатической адап-

тации. Архитектурные элементы – вертикальное ритмичное осте-  
кление, ниши, выступы и ламели – способствуют дозированию солн-  
ечного излучения, срезанию ветровых нагрузок и формированию  
буферных зон.

Таким образом, климатически осмысленное решение геоме-  
трии фасада может не только усиливать архитектурный образ, но  
и выступать компонентом энергосбережения, особенно в регионах  
с резко-континентальным климатом и широкой, сезонной темпера-  
турной амплитудой.

### **Заключение:**

#### **нормативные барьеры и стратегические перспективы**

Если фасады вчерашнего и сегодняшнего дня работали как «ба-  
рьер», то завтрашние – должны стать надежным «интерфейсом»  
между зданием и средой. Это элемент, который работает на здание –  
поверхность, которая способна сохранять тепло зимой и отражать  
солнечную энергию летом, участвовать в энергоцикле и, при этом,  
создавать уникальный архитектурный образ. Изученные исследо-  
вания показывают, что устоявшиеся подходы к фасадным решени-  
ям, даже такие технологически зрелые как вентилируемые систе-  
мы, уже не отвечают вызовам континентального климата регионов  
стран СНГ, в том числе, в условиях резких перепадов температур.  
В первую очередь, они требуют переосмысления и переоснаще-  
ния – как в функциональном, так и в формообразующем аспектах.

При этом, действующая нормативная база в странах СНГ – на-  
пример, СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» [9] в России  
или СН РК 2.04-01-2017 [10] в Казахстане – остается преимуще-  
ственно теплофизической, уделяя основное внимание сопротивле-  
нию теплопередачи, и практически не учитывает потенциальную  
роль и возможности фасада, как активной климатической оболочки.  
Критическим пробелом является практическое отсутствие ме-  
тодик расчёта: адаптивных характеристик ограждающих конструк-  
ций, определения и их вклада в пассивное энергоснабжение, а также  
инсталляционную эффективностью в зависимости от геометриче-  
ских параметров (глубины проемов, рельефа поверхности, формы

покрытия). Такая нормативная ограниченность существенно тормозит внедрение инновационных решений и укрепляет шаблонный подход в проектной практике.

На фоне этого, в настоящее время всё же формируется переход к адаптивным фасадным оболочкам (CABS), использующим глубину формы, работу с микроклиматом, интеллектуальные материалы, интеграцию пассивных или активных энергетических систем. В рамках данной парадигмы эстетические и технические требования не вступают в противоречие: напротив, ясные пропорции, продуманная активность материалов и строгая геометрия становятся инструментами достижения как архитектурной идентичности, так и высокой энергетической эффективности.

Формирование регионально-адаптивных фасадных типологий представляет собой стратегически важное направление развития архитектурной практики, позволяющей учитывать конкретные климатические зоны, местные строительные технологии и практики, культурный контекст, а также уровень ресурсообеспеченности. Такой подход, готовый к актуальным климатическим вызовам XXI века, позволит, на мой взгляд, уйти от шаблонных решений в сторону гибкой, интеллектуальной, архитектурно выразительной оболочки.

### **Литература**

1. *Zhangabay A., Abduazizov Zh., Ospanova Zh., Abishev M., Nurbayev A., Elshafei N. E. H., Khiat S.* Energy performance assessment of building envelope in continental climate of Kazakhstan: field measurements and energy simulations // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, №. 23. – Art. 10979. – DOI: 10.3390/app142310979. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/23/10979> (дата обращения: 27.06.2025).
2. *Loonen R. C. G. M., Trčka M., Cóstola D., Hensen J. L. M.* Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 25. P. 483–493. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016> (дата обращения: 15.06.2025).
3. *Zhou D., Zhao C.-Y., Tian Y.* Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications // Applied Energy. 2012. Vol. 92. P. 593–605. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025> (дата обращения: 27.06.2025).

4. ProfileSolar. Data for Almaty, Kazakhstan [Электронный ресурс]. URL: <https://profilesolar.com/locations/Kazakhstan/Almaty/> (дата обращения: 27.06.2025).
5. Yang T., Athienitis A. K. A review of research and developments of building-integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 66. P. 886–912. URL: [https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.011/](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.011) (дата обращения: 27.06.2025).
6. Peng J., Lu L., Yang H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 19. P. 255–274. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.035/> (дата обращения: 27.06.2025).
7. Barbero-Barrera M. del Mar; Tendero-Caballero R., García de Viedma-Santoro M. Impact of solar shading on façades' surface temperatures under summer and winter conditions by IR thermography // Architecture. – 2024. – Vol. 4, № 2. – P. 221–246. – DOI: 10.3390/architecture4020014. – URL: <https://www.mdpi.com/2673-8945/4/2/14/> (дата обращения: 27.06.2025).
8. Kolarevic B. Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York : Taylor & Francis, 2003. 320 p.
9. Российская Федерация. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий : актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М. : Минстрой России, 2024. 104 с.
10. Республика Казахстан. СП РК 2.04-01-2017. Строительная климатология (с изм. и доп. по сост. на 13.05.2025). Астана : НИПИ по архитектуре, градостроительству и строительству, 2017. 101 с.

**УДК 725**

Мария Александровна Тырбылева,  
студент  
Ольга Александровна Пастух,  
канд. архит., доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* marusya10.01@yandex.ru,  
opastukh@lan.spbgasu.ru

*Maria Alexandrovna Tyrbyleva,*  
student  
*Olga Alexandrovna Pastukh,*  
PhD in Arch., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail* marusya10.01@yandex.ru,  
opastukh@lan.spbgasu.ru

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ НА ВЕРШИНАХ ХИБИН)**

### **AN INTEGRATED APPROACH TO CONSTRUCTION IN THE ARCTIC CLIMATE (USING THE EXAMPLE OF THE Khibiny MOUNTAINS)**

Актуальность работы напрямую связана с комплексным подходом в проектировании и строительстве объектов арктического туризма, развитие которого входит в ряд национальных приоритетов Российской Федерации, так как рассматривается как важный способ диверсификации экономики и содействия устойчивому развитию регионов. На сегодняшний день стала очевидной необходимость создания единой сети туристических центров на базе малых городов Арктической зоны Российской Федерации, объединённых в кластер, который способен обеспечить современные комфортные и безопасные условия активного отдыха и спорта.

*Ключевые слова:* комплексный подход, строительство в экстремальных климатических условиях, Арктическая зона, арктический туризм, ресторан «Плато», Хибины.

The relevance of the work is directly related to an integrated approach in the design and construction of Arctic tourism facilities, the development of which is among a number of national priorities of the Russian Federation, as it is seen as an important way to diversify the economy and promote sustainable development of the regions. Today, it has become obvious that it is necessary to create a unified network of tourist centers based on small cities in the Arctic zone of the Russian Federation, united into a cluster that can provide modern comfortable and safe conditions for active recreation and sports.

*Keywords:* integrated approach, construction in extreme climatic conditions, Arctic zone, arctic tourism, Restaurant Plateau, Khibiny Mountains.

В настоящее время актуально развитие арктической архитектуры. Арктика является наиболее важным регионом Российской Федерации (далее – РФ): она обладает значительным пространством, огромным потенциалом энергетических, биологических и сырьевых ресурсов, а также транспортных арктических путей как внутреннего, так и внешнего значения. Поэтому изучение Арктики и развитие комплексного подхода строительства в отечественной арктической архитектуре является актуальным для последующего роста и развития Северо-Западного региона [1].

Нормативная документация в области промышленного и гражданского строительства в Арктической зоне, совершенствуется и обновляется на основе вновь получаемой информации. Однако проблема комплексного развития архитектуры современных моногородов Арктической зоны недостаточно исследована и нуждается в дальнейшем изучении [2, 3].

Масштабные и комплексные изучения проблем и развития арктических территорий начались в середине XX века. Стоит отметить, что 26.10.2020 г. был подписан Указ № 645 Президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [4].

На совещание по развитию опорных населенных пунктов Арктической зоны РФ президент России В. В. Путин определил роль туризма одной из «важнейших системных задач». По мнению президента РФ, «развитие туризма в Арктической зоне имеет просто колоссальный потенциал». Однако для полноценного развития туристической отрасли в регионе, по его словам, «предстоит совершенствовать индустрию гостеприимства, предлагать интересные маршруты и услуги, а также развивать города и поселки в комплексе» [5, 6].

Следовательно, актуальность данной работы напрямую связана с комплексным подходом в строительстве объектов арктического туризма, развитие которого рассматривается как важный способ

диверсификации экономики и содействия устойчивому развитию регионов. На сегодняшний день стала очевидной необходимость создания единой сети туристических центров на базе малых городов Арктической зоны Российской Федерации, объединённых в кластер, который способен обеспечить современные комфортные и безопасные условия активного отдыха и спорта [7].

Туристические центры малых городов Арктической зоны Российской Федерации неспособны обеспечить длительное пребывание туристов в регионе по отдельности. Необходима взаимосвязанная сеть туристических центров, объединённых в кластер, который бы формировал синергетический эффект от взаимодействия участников, входящих в его состав [8].

Качество организации туристического центра для многих потребителей является ключевым при выборе направления для поездки. Туристические центры помогают раскрыть имеющиеся туристические ресурсы региона, сделать их доступными для показа. Такие центры могут быть предназначены и для местного населения – проведения досуговых и деловых мероприятий, что позволит повысить уровень жизни в арктическом регионе [9].

**Цель работы** заключается в обосновании комплексного подхода развития моногорода Кировска Мурманской области с точки зрения развития арктического туризма.

**К задачам исследования относятся:**

1) изучение уникальных зданий горнолыжного комплекса «Большой Вудъяvr», крупнейшего горного массив на Кольском полуострове – Хибины, города Кировска;

2) анализ неординарных проектных решений и практических приемов строительства уникального здания «Плато», построенного на вершине Хибин;

3) обоснование методов и приемов уникального строительства данного здания «Плато» в составе горнолыжного комплекса;

4) выявление ряда объединяющих факторов и характерных особенностей проектирования и строительства объектов туристической инфраструктуры Арктической зоны РФ для создания уникального образа и комфортной среды;

5) разработка рекомендаций по внедрению современных технологий и конструктивных решений при кластерном подходе строительства в Арктической зоне РФ с учетом климатических особенностей.

**Объектом исследования** – уникальное здание ресторан «Плато» на вершинах Хибин.

**Предметом исследования:** комплексный подход в проектировании и строительстве уникальных объектов для развития комфортного и безопасного развития туризма в арктических условиях [2].

#### **Методологические принципы и методы исследования**

На начальном этапе решения проектно-творческой задачи основными методами исследования были:

- *эмпирические*, такие как натурное исследование среды, фотографирование, сравнение;
- *методы теоретического уровня* – графоаналитический анализ и обобщение опыта архитектурно-композиционных и функционально-планировочных решений в сфере проектирования и возведения ресторана «Плато» на вершине Хибин и систематизация теоретических знаний по данной проблеме.

Город Кировск Мурманской области известен не только как важнейший промышленный центр России. Одной из ключевых особенностей города является его географическое расположение внутри горных массивов Хибин, что формирует особый микроклимат с более ранней и продолжительной зимой, обильными снегопадами. Это благоприятно сказывается на развитии горнолыжного спорта.

Благодаря поддержке Губернатора Мурманской области и финансированию горнодобывающей компании «ФосАгро», на вершине горного массива было построено уникальное здание – ресторан «Плато».

Панорамный комплекс «Плато» – самое высокогорное на северо-западе России архитектурное сооружение, расположенное на высоте 820 м, открылось в Хибинских горах Мурманской области на северном склоне горы Айкуайвенчорр в 2020 г.

Это здание поражает кировчан и гостей города своими нестандартными образами и конструктивными решениями. Проект ресторанных комплексов на сложном рельефе является уникальным, так как

при его разработке был применён комплексный подход к решению объёмно-планировочной композиции, учитывающий природно-климатические факторы.

Панорамный комплекс является высотной доминантой всего юга Кольского полуострова и виден, особенно при ясной погоде, за десятки километров с земли и с воздуха. Это единственный в России горный ресторан с современной архитектурной концепцией. Он представляет собой пятиэтажное здание из стекла и бетона, при строительстве которого использованы большепролетные безопорные монолитные конструкции, создающие эффект парения здания.

Проект уникального пятиэтажного здания ресторана «Плато» на вершине Хибин был разработан в 2017 г. ведущим архитектурным бюро – Kleinewelt Architekten. В роли магнита здания выступает круглое основание из бетона, а в роли сверхпроводника – «шайба» с панорамными стенами. Все технические помещения и кухня расположены в стилобате, тогда как эффектное круглое пространство с панорамным остеклением занимают быстро и ресторан. Промежуточный уровень – кровля стилобата – отведен под бар с открытой террасой.

Строительство ресторанных комплекса началось летом 2018 г. на вершине горы Айкуайвенчорр. Стойка приковывала к себе взгляды тысяч людей из разных регионов России. При разработке котлованов, в том числе с применением буровзрывных работ, изъяли колоссальный объём грунта, а именно 1500 м<sup>3</sup>. Основание здания выполнено строителями ступенчато из-за особенностей рельефа. Стойкиматериалы на вершину доставляли карьерными самосвалами, а для подготовки бетона наверху развернули мобильный бетонный завод.

Летом 2019 г. монолитные работы продолжились, построили фундамент здания и стилобат, в котором расположили кухню и всю инженерную коммуникацию.

Согласно проектной документации, высокогорный ресторан-бар с террасой и кафе рассчитан на одновременное обслуживание до 300 посетителей. Общая площадь гостевых зон составляет 1500 м<sup>2</sup>. В июне 2020 г. началась самая ответственная часть работы. Для повышения прочности перекрытия использовались уси-

ленные ребра жёсткости, интегрированные в конструкцию, а также применялись специальные элементы, создающие пустоты в плитах здания, что позволило оптимизировать расход бетона и снизить общий вес конструкции. В результате, несмотря на кажущуюся легкость конструкции, удельный объём используемой арматуры при пересчете расхода на куб бетона составил 480 кг/м<sup>3</sup>, обеспечив требуемый уровень прочности. Особое внимание уделялось выбору оконных модулей, разработанных специально для данного проекта в России. Размеры каждого стеклопакета составляют впечатляющие 4,80×2,20 м. Эти окна обладают повышенной прочностью, способной выдерживать экстремально высокие скорости ветра, превышающие 50 м/с, характерные для горного региона. Доставка столь крупных и тяжелых элементов осуществлялась специализированной техникой, учитывая сложность ландшафта.

Завершение основных строительных работ произошло к концу 2020 г. После завершения отделки фасада архитектурным бетоном и монтажа кровли были установлены двери и завершён монтаж остекления. Всего потребовалось покрыть стеклами около 1000 м<sup>2</sup> поверхности, что стало значительным испытанием для строителей и инженеров.

Зимой строительные работы продолжились. Обустройство внутренних помещений потребовало прокладки сотен метров водопровода, десятков километров кабеля и обустройства многочисленных вентиляционных каналов. Особое внимание было уделено установке осветительного оборудования, учитывавшего особенности эксплуатации в суровых погодных условиях.

Таким образом, уникальный опыт строительства данного ресторана продемонстрировал инновационные подходы к решению технических проблем, возникающих при возведении сооружений в труднодоступных регионах с особыми климатическими условиями.

Летом 2021 г. начались работы по прокладке высоконапорного водопровода. Этот уникальный проект был разработан специально. Водопровод должен был обеспечить водой не только все цеха ресторанов, но и автоматическую систему пожаротушения. Для его обустройства от подножия до вершины, а это полтора километра,

путем подрыва от твёрдого скального грунта подготовили траншой глубиной до трех метров. Одновременно велись работы по отделке помещения здания и установки оборудования.

Открытие уникального ресторанных комплекса состоялось в конце 2021 г. Современная и многофункциональная общественная деловая площадка ресторана позволяет проводить онлайн-встречи, конференции, семинары и массовые мероприятия. Для этого ресторанного комплекса оснащен современным презентационным оборудованием и аудиоаппаратурой.

Проект панорамного ресторанных комплекса на вершине горы Хибины г. Кировска Мурманской области является уникальным, при его разработке был применён комплексный подход к решению градостроительной композиции, учитывающий природно-климатические факторы, современные строительные технологии и неординарные проектные решения.

Для достижения конкурентной способности нового туристического продукта на территории горнолыжного курорта «Большой Вудъяvr» были использованы новые современные технологии и неординарные проектные решения в строительстве уникального здания на вершине Хибин [10]. Комплексная организационная структура стратегического управления позволила увеличить туристический поток в 2024 г. на 37 957 человек (рис. 1).

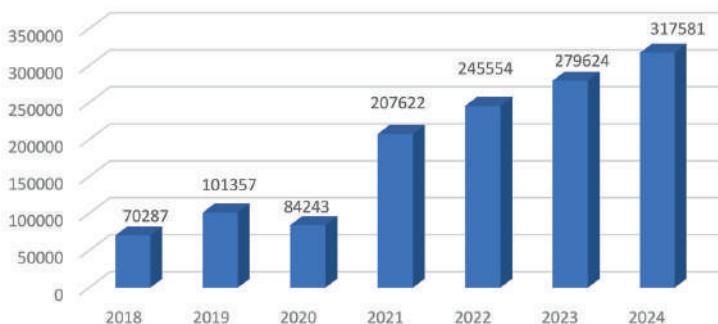


Рис. 1. Динамика туристического потока горнолыжного комплекса «Большой Вудъяvr» за последние 7 лет

Таким образом, комплексное проектирование горно-туристического кластера «Большой Вудъяvr» способствуют диверсификации экономики Кировско-Апатитской агломерации, а уникальное строение ресторана становится визитной карточкой не только города Кировска и Мурманской области, но и всей Северо-Западной Арктической зоны РФ.

### Литература

1. Логунцова И. В. Особенности развития туризма в Арктической зоне России // Государственное управление. Электронный вестник, 2021. № 87. С. 39–47.
2. Плясов А. Н., Путинова Е. С. Новые проекты освоения Арктики: пространство значимое! // Арктика и Север, 2020. С. 21–43.
3. Пчелинцев О. С., Пастух О. А. Архитектура горнолыжных кластеров: ИТ в создании безопасной и комфортной среды при устойчивом развитии территории / В книге: Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2024. С. 80.
4. Указ Президента РФ от 31.03.2023 № 229 «Об утверждении Концепции внешней политики Российской Федерации» // СПС КонсультантПлюс.
5. Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» (ред. от 21.02.2023) // СПС КонсультантПлюс.
6. Пчелинцев О. С., Пастух О. А. Особенности выбора территории для проектирования горнолыжного туристического комплекса в Арктической зоне / Системные технологии. 2024. № 1(50). С. 162–168.
7. Болдырева С. Б. Влияние туризма на социально-экономическое развитие региона: обобщение российского и зарубежного опыта // Региональная экономика: теория и практика, 2018. № 5(452). С. 972–988.
8. Крайнова Э. А., Лайпанова А. Д. Ключевой вектор социально-экономического развития российских арктических зон // Вестник РГГУ. Серия : Экономика. Управление. Право, 2020. № 1. С. 97–109.
9. Велли Ю. Я., Докучаев В. В., Фёдоров Н. Ф. Здания и сооружения на Крайнем Севере : справочное пособие. Москва ; Ленинград : Госстройиздат. Ленингр. отделение, 1963. 491 с.
10. Пастух О. А. УрбоЭкологические аспекты трансформации архитектурной среды в современных условиях глобальной цифровизации / В сборнике: Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XV Международной научно-технической конференции. Новосибирск, 2022. С. 126–130.

**УДК 693**

Константин Сергеевич Чекалин,

студент

Юлия Владимировна Сокол,

ст. преподаватель

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

E-mail: chekalin2004@bk.ru

*Konstantin Sergeevich Chekalin,*

student

*Yulia Vladimirovna Sokol,*

senior lecturer

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: chekalin2004@bk.ru

## **ВОЗМОЖНОСТИ ВТОРИЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕМОНТАЖА ЗДАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **POSSIBILITIES OF SECONDARY USE OF BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES OBTAINED AS A RESULT OF DISMANTLING BUILDINGS IN CONSTRUCTION**

В статье изучаются на конкретных примерах варианты повторного использования строительных материалов и конструкций, полученных в результате демонтажа, непосредственно в строительстве. В целях актуализации для анализа взяты материалы, получаемые при сносе панельных домов, так как для данных зданий вопрос о рациональном использовании сырья, получаемом при их демонтаже, в настоящее время лишь набирает важность. Таким образом, рассматривается следующее сырьё: кирпичный и стеклянный бой, металлический лом и железобетонный блоки. Также приводятся некоторые законодательные аспекты из зарубежной практики, благодаря которым удалось достичь определённых успехов в сфере переработки строительных материалов. Приводятся конкретные примеры успешной интеграции вторичных строительных материалов при постройке различных объектов. Подчёркивается важность и необходимость изменений в обращении с отходами, получаемыми при демонтаже зданий.

*Ключевые слова:* демонтаж, вторичное использование строительных материалов, вторичный щебень, кирпичный бой, стеклянный бой, железобетонные блоки, металлические конструкции.

The article examines, using concrete examples, the possibilities of reuse of building materials and structures obtained as a result of dismantling, directly in construction. For the purpose of updating, the materials obtained during the demolition of wooden houses are used for analysis, since for these buildings the issue of the rational use of raw materials obtained during their dismantling is currently only gaining importance. Thus, the following raw materials are considered: brick and glass scrap, metal scrap and iron-concrete blocks. It also provides some legislative aspects from foreign practice, thanks to which it has been possible to achieve some success in the field of building materials processing. Specific examples of successful integration of secondary building materials in the construction of various facilities are given. The importance and necessity of changes in the management of waste generated during the dismantling of buildings is emphasized.

*Keywords:* demolition, dismantling, secondary use of building materials, secondary sheet, brickwork, glass, reinforced concrete blocks, metal structures, foreign experience.

## **Введение**

В настоящее время, в условиях отечественной практики существует серьёзная проблема с рациональным использованием сырья, получаемого при разборке здания. Лишь порядка 5–10 % идёт на переработку, основная же масса вывозится на свалку [1]. Учитывая тот факт, что большинство материалов к моменту демонтажа нерабатывают установленный нормативный ресурс, такой подход является крайне неэффективным. Более рациональным решением будет поиск области строительства, где подобный ресурс можно повторно применить, предварительно переработав.

Основным фактором, влияющим на характер полученного сырья, будет способ разборки строения. Глобально существуют два варианта: радикальный: снос – полное разрушение, например, с использованием взрывчатых веществ, или более щадящий: демонтаж – частичное разрушение, при котором часть конструкций разбирается на детали. В результате сноса получается огромное количество почти негодного к повторному использованию материала, так как переработка полученной «смеси» экономически нецелесообразна, из-за слишком сложного процесса сортировки.

В большинстве случаев, демонтаж ведёт к образованию неоднородных низкомарочных материалов, не имеющих гарантированной

прочности, но всё же такие материалы могут ещё послужить при возведении новых конструкций.

Далее остановимся на составе сырья, которое будет перерабатываться и повторно применяется. В случае со зданиями панельный застройки, представлены следующие материалы: стекло, металл, колотый кирпич, железобетон.

Самый простой с технологической точки зрения пример применения сырья, оставшегося после демонтажа, – это вторичный щебень. Данный материал производят из отходов кирпича и бетона. Технология процесса производства довольно-таки проста: подлежащие обработке образцы просто перемалывают, предварительно удалив прочий строительный мусор (металл, стекло). Полученный материал в зависимости от исходных компонентов может применяться для отсыпки строительных дорог, фундаментов лёгких конструкций, а также, например, в качестве заполнения строительной смеси.

Ранее упомянутый кирпич, так же имеет множество вариантов вторичного использования. Главная сфера применения – частное домостроение. Например, в обустройстве дорожек, клумб, заборов, изготовление заполненных битым кирпичом ограждений из стальных сеток.

Ещё одним из распространённых конструкционных материалов, остающихся после сноса здания, является металл. Данный материал годен для повторного использования, так как вследствие переработки не происходит критического снижения прочности. После переплавки металлические конструкции можно использовать для строительства ангаров, складов, а также в качестве каркаса для других зданий [2].

Следующим рассматриваемым материалом будет стекло. После измельчения, оно может быть использовано в качестве добавки для композиционного вяжущего необходимого для производства бетона [3]. Тонкомолотый стеклянный порошок используется в бетоне как в качестве мелкого наполнителя (песка), так и в качестве крупного наполнителя. Но более широкое распространение получил вариант с добавлением стеклянных осколков в вяжущее, в ходе чего получается одновременно декоративный и прочный материал, не те-

ряющий своих свойств под воздействием влаги. Также в ходе более тщательной переработки стеклянного боя можно произвести стекловолокно, которое можно применять в качестве теплоизоляционного материала.

Самым же распространённым строительным отходом является бетон – хорошо перерабатываемый материал. Существует возможность повторного использования непосредственно бетонных блоков и плит, в частности для тех, что первоначально использовались для устройства фундамента и стен подвалов. Такие блоки могут использованы в качестве элементов конструкций подпорных стенок небольшой высоты, а также для возведений фундаментов малоэтажных зданий [4]. Подобный подход позволяет значительно снизить экологический вред, наносимый при производстве новых железобетонной продукции [6]. Но такое применения должно быть тщательно обосновано расчётом прогнозируемых строительных нагрузок на здания [5]. Повторное использование стеновых панелей по их прежнему назначению невозможно, из-за возможных трещин, которые значительно влияют на конструктивные характеристики.

Возможно отделить бетон от арматуры и в результате подобной переработки получаются такие фракции, как: песок, щебень, осадок с цементным молочком, стальной лом, и уже их можно в дальнейшем повторно использовать. Также из полученного в ходе дробления сырья можно сделать плитку для мощения при благоустройстве территории.

Если обращаться к зарубежному опыту, то можно привести в пример Швейцарию, где минимум 25 % от бетона, использованного для строительства общественных зданий, должны быть продуктами вторичной переработки. Ещё один хороший пример – Германия, где введён запрет на складирование непереработанных отходов [2], следовательно, застройщики дополнительно мотивированы использовать и развивать технологии переработки строительного сырья, оставшегося в ходе демонтажа. Говоря о конкретных примерах, можно упомянуть один из корпусов музея искусств «Кунстхаус» в Цюрихе, построенного в 2020 году. До 98 % бетона в нём минимум на 25 % состоят из строительных отходов. Также в 2024 году

во Франции был построен жилой комплекс «Recygénie» состоящий из полностью переработанного бетона. Все компоненты бетонной смеси представляли, включая цемент, представляли собой продукт переработки.

### **Заключение**

Несмотря на перечисленные выше широкие перспективы вторичного применения строительных материалов и конструкций, полученных в результате демонтажа в строительстве, к сожалению, из-за того, что такое использование материалов приносит в большинстве выгоду лишь в долгосрочной перспективе, мотивация у застройщика использовать повторно сырьё – низкая. Следовательно, получается ситуация, при которой, с одной стороны, есть воплощённые в жизнь примеры налаженного вторичного использования строительных материалов, а с другой – огромный экологический вред, наносимый при складировании таких отходов на свалках. Но нормативная база в России в данной сфере развита недостаточно, поэтому, несмотря на огромный потенциал, подавляющие большинство строительного мусора отправляется на свалку. Для решения данной проблемы нам необходимо, ориентируясь на воплощённые в жизнь примеры налаженного вторичного использования строительных материалов иностранных партнёров, делать шаги к минимизации экологического вреда, наносимого при складировании отходов на свалках, ведь забота о природе – это забота о нашем будущем.

### **Литература**

1. *Владимиров С. Н.* Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии, 2016. № 19. С. 101–105.
2. Inge Vestergaard. Reusing concrete panels from the industrial mass housing of the 1960 // SBEfin2022 Virtual Conference – 23<sup>th</sup> – 25<sup>th</sup> November 2022.
3. Бондаренко Н. И., Басов В. О., Даценко А. О. Разработка составов вяжущих с использованием стеклоотходов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова, 2022. № 1. С. 83–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-83-89.
4. Кальгин А. А., Фахратов М. А., Сохряков В. И. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы», 2010. № 6. С. 32–33.

5. Назарова Д. С., Переверзев Н. А. Устройство сборно-монолитного ленточного фундамента из б/у железобетонных ребристых плит // Современные научные исследования и инновации, 2019. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.s nauka.ru/issues/2019/12/90929/> (дата обращения: 05.06.2025).

6. Танкеев А. С., Биндумова Е. В., Курбатова П. С., Филенко В. А. Опыт повторного применения строительных материалов и конструкций в строительстве // Современные научные исследования и инновации, 2025. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.s nauka.ru/issues/2025/01/102881/> (дата обращения: 12.03.2025).

**УДК 692**

Семён Николаевич Черепанов,  
студент  
Павел Анатольевич Пегин,  
д-р техн. наук, профессор  
(Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
императора Александра I)  
*E-mail: Lookcherepanov@gmail.com,*  
*Ppavel.khv@gmail.com*

*Semyon Nikolaevich Cherepanov,*  
student  
*Pavel Anatolyevich Pegin,*  
Dr. Sci. Tech., Professor  
(Emperor Alexander I  
St. Petersburg State  
Transport University)  
*E-mail: Lookcherepanov@gmail.com,*  
*Ppavel.khv@yandex.ru*

## **ТРЕБОВАНИЯ К АРХИТЕКТУРНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ ЗДАНИЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ БЕСПИЛОТНОЙ ДОСТАВКИ В ГОРОДСКУЮ СРЕДУ**

### **BUILDING ARCHITECTURAL DESIGN REQUIREMENTS FOR INTEGRATING UNMANNED DELIVERY INTO THE URBAN ENVIRONMENT**

Предложены требования к зданиям и сооружениям для интеграции роботов курьеров в процесс доставки товаров на стадии последнего километра. Рассмотрены существующие требования к городской среде, описанные в нормативных документах Российской Федерации для маломобильных групп населения. Оценены условия, описанные в нормативных документах, для использования роботами-курьерами на примере самого распространенного прототипа в Российской Федерации из компании «Яндекс». Предложены варианты планировки входной группы с учётом въезда беспилотного робота-курьера во внутрь здания или сооружения. Создана ТИМ модель робота-курьера «Яндекс Ровер» для удобства оценки и проектирования объектов городской среды.

*Ключевые слова:* робот-курьер, Яндекс Ровер, городская среда, доставка, архитектурное проектирование, входная группа.

The requirements for buildings and structures for the integration of courier robots into the process of delivering goods at the last kilometer stage are proposed. The existing requirements for the urban environment described in the regulatory documents of the Russian Federation for low-mobility citizens are considered. The conditions described in the regulatory documents for use by courier robots are evaluated using the example of the most common prototype in of the Russian Federation from Yandex. The options for the layout of the entrance group are proposed, taking

into account the entry of an unmanned courier robot into the interior of a building or structure. A TIM model of the Yandex Rover courier robot has been created for the convenience of evaluating and designing urban environment facilities.

*Keywords:* robot courier, Yandex Rover, urban environment, delivery, architectural design, entrance group.

## **Введение**

Формирование облика современного городского пространства напрямую зависит от потребности людей, которые этим пространством пользуются. Такие потребности к среде могут изменяться от поколения к поколению исходя из развития новых технологий, модных тенденций или прогрессу в архитектурной и инженерной науке.

Если модные тенденции в архитектуре и дизайне предсказать крайне сложно, то прогресс в инженерной среде происходит постепенно, и некоторые перспективы во взаимодействии города и человека можно учесть на ранних этапах некоторых пилотных проектов. Так, на данный момент одно из перспективных направлений, которые можно заметить в пилотных проектах по всему миру – это беспилотная доставка роботами курьерами на стадии последнего километра (последней мили). Российская Федерация является одной из стран, в которых такой пилотный проект постепенно переходит на новую стадию широкого тестирования. Работы компании «Яндекс» уже работают в нескольких городах: Москва, Иннополис, Мурино, Алматы.

В декабре 2024 года сервис «Superjob» провел опрос среди жителей Москвы на тему «Хотели бы вы, чтобы заказы вам домой привозил не курьер (человек), а робот-доставщик?» [1]. Данные опроса показали, что результаты в разных районах Москвы разные, процент респондентов, ответивших «Да» колеблется в пределах 10–35 %, общее же количество положительно настроенных респондентов к роботам курьерам 25 %, отрицательно настроенных 44 %.

Однако потребность в сервисах доставки в России с каждым годом растет, а за спросом на доставку товаров и продуктов растет потребность в курьерах, осуществляющих эту доставку.

Предположительно, доверие клиентов к роботам курьерам можно увеличить благодаря развитию условий для этого вида доставки.

Кардинальное повышение качества обслуживания в сфере доставки возможно за счёт внедрения и развития достижений в области информационных технологий в симбиозе с градостроительной наукой [2–4].

Для того чтобы клиенту удобнее было забирать свой заказ можно заложить в проект гражданского здания автоматические двери (пропускной шлюз) для беспилотных роботов-курьеров, а также место для их парковки внутри входной группы [5]. Такие же двери подойдут для складских и распределительных зданий, для создания автоматизированной системы «Заехал-забрал-отвёз-заехал-отдал». В таком сценарии можно исключить человека из всех процессов перевозки, кроме процесса получения.

### **Параметры робота-курьера, ТИМ модель**

Для удобства оценки и проектирования объектов промышленного и гражданского строительства создана информационная ТИМ-модель Яндекс Ровера для Autodesk Revit (рис. 1) с размерами, равными реальным размерам робота-курьера от «МКПАО ЯНДЕКС». Измерения с робота-курьера «Яндекс Ровер» указаны в табл. 1. Рекомендуемые параметры указаны в табл. 2.

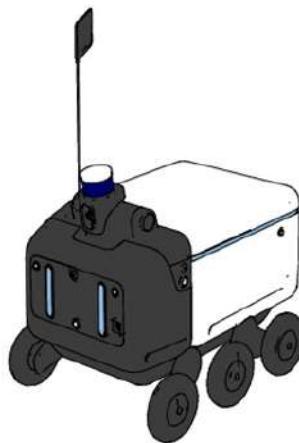


Рис. 1. ТИМ-модель Яндекс Ровера

*Таблица 1***Параметры робота-курьера «Яндекс Ровер»**

Измеренный параметр Яндекс Ровера	Значение, мм
Высота корпуса	770
Высота корпуса с сигнальным флагжком	1180
Ширина корпуса	700
Длина корпуса	850
Ширина сигнального флагжка	30

*Таблица 2*

**Рекомендуемые параметры робота-курьера «Яндекс Ровер»  
для проектирования пропускных шлюзов, проездов и стоянок,  
с учётом запаса на маневрирование**

Рекомендуемый параметр	Значение, мм
Высота пропускного шлюза (с учетом запаса 100 мм)	870
Высота пропускного шлюза, учитывая сигнальный флагжок робота-курьера (с учетом запаса 100 мм)	1280
Ширина пропускного шлюза (с учетом запаса 500 мм)	1200
Длина корпуса робота-курьера, с запасом на маневрирование	850

**Анализ имеющихся требований в нормативных документах**

При разработке новых проектов зданий, учитывающих заезд и присутствие робота-курьера внутри помещений важно учесть уже имеющиеся нормативные требования к проектам. При въезде робота-курьера в парадную с уровнем чистого пола входной группы равным уровню земли въезд считается безбарьерным. Если нулевая отметка чистого пола первого этажа приподнята от уровня земли на некоторую высоту, то такие здания должны быть оборудованы пандусами для маломобильных групп населения [6]. Согласно требованиям СП 59.13330.2020 [6] для жилых зданий наружный пандус

должен иметь уклон в пределах от 1:33 до 1:12,5. В силу положений СП 56.13330.2021 для складских зданий уклон пандусов не должен превышать 1:10 [7].

Ширину пандуса для жилых зданий назначают не менее 0,9 м в зависимости от расчета. Минимальной ширина площадок разворота принимается 1,5 м [6]. Габариты кресла-коляски составляют  $0,8 \times 1,2$  м ( $0,96\text{ м}^2$ ).

Реальные габариты Яндекс Ровера (табл. 1) равны  $0,70 \times 0,85$  м ( $0,6\text{ м}^2$ ), что меньше по занимаемой площади на плоскости чем человек в кресле-коляске. Предлагаемые габариты Яндекс Ровера (табл. 2)  $1,20 \times 1,35$  м ( $1,62\text{ м}^2$ ) выходят за рамки площадки, занимаемой человеком в инвалидном кресле. Реальные габариты робота-курьера подходят даже для минимальных параметров пандуса (рис. 2). Однако, рекомендуемые параметры (табл. 2), учитывающие запас на маневрирование не подходят под минимальные требования для ширины пандуса. Для использования пандусов роботами-курьерами предпочтительно учитывать ширину марша 1200 мм (табл. 2). Схема движения Яндекс Ровера по пандусу шириной 0,9 м, его габариты в плане и диаметр разворота на месте приведены на рис. 2.

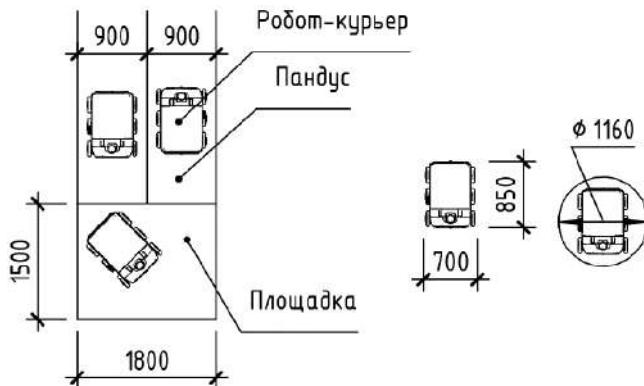


Рис. 2. Схема движения Яндекс Ровера по пандусу, предназначенному для маломобильных групп населения. Размеры Яндекс Ровера в плане.

Минимальный диаметр разворота Яндекс Ровера  
(При развороте на месте, учитывая размеры из табл. 1)

При этом эксплуатация пандуса (предназначенного для мало-мобильных групп населения) роботами-курьерами является сложным в реализации сценарием. Для данной технологии однозначно лучше подходят здания, нулевая отметка первого этажа которых не превышает 0,15 м над уровнем земли. Для использования наклонного пандуса роботами-курьерами необходимо учитывать не только размеры, но и покрытие пандуса. От взаимодействия материала колес Яндекс Ровера и материалов и текстуры поверхности пандуса зависит манёвренность робота-курьера.

Немаловажным условием работы колесных роботов-курьеров является безбарьерная уличная среда города, заключающаяся в наличии пешеходной инфраструктуры. Сравнивая робота-курьера с маломобильной группой населения, требования к доступности зданий и сооружений оказываются равными из-за крайне схожих параметров. Таким образом, такие нормы безбарьерной городской среды как наличие пандусов, пешеходных переходов и съездов с тротуаров применимы и для роботов-курьеров.

### **Проектирование въезда робота-курьера в здание**

Для того чтобы робот-курьер попадал во внутрь здания, необходимо предусмотреть автоматически открывающиеся двери. Размеры, предлагаемые для определения ширины и высоты дверного проёма, взяты из табл. 1.

Способ метода открывания автоматических дверей для робота-курьера может отличаться в связи с доступной площадью для стоянки роботов-курьеров или иными требованиями к помещению, в которое заезжает робот-курьер. Визуализации вариантов конструкций открывания автоматических дверей представлены на рис. 3.

Помимо вариантов, представленных на рис. 3, такие двери могут открываться наверх или распахиваться на улицу.

Внутри здания нужно закладывать проезд и стоянку для робота-курьера. Если предполагается стоянка нескольких роботов, между ними также следует оставлять место для маневра заезда или выезда. Размеры с запасом на маневренность указаны в табл. 2.

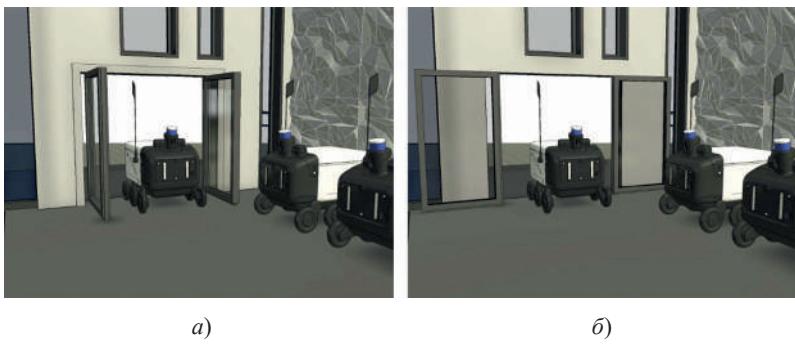


Рис. 3. Двери для робота-курьера «Яндекс Ровер»:  
а – распашные внутрь помещения;  
б – раздвижные в стороны, внутрь помещения

На рис. 4 представлен план-концепция входной группы офисного здания, адаптированный для заезда робота-курьера внутрь по наклонному пандусу. В месте стоянки между роботами-курьерами соблюдено расстояние в 250 мм, от стены так же сделан отступ 250 мм. От крайней точки открывания распашной автоматической двери сделан отступ 300 мм. Длина и уклон пандуса спроектированы исходя из требований, указанных в СП 59.13330.2020 [6]. В сценарии взаимодействия здания и доставки роботами-курьерами предусмотрено нахождение трёх роверов внутри парадной.

На рис. 5 представлено зонирование помещения парадной исходя из планировки, указанной в плане на рис. 4. Помещение парадной в осях имеет площадь 81,00 м<sup>2</sup>, из которых 66,54 м<sup>2</sup> занимает общественное пространство со стойкой информации и зоной отдыха (обозначена голубым цветом), и 11,20 м<sup>2</sup> занимает зона стоянки роботов курьеров. Белым цветом выделены зоны безопасности от траектории движения и зоны стоянки, равные 250 мм, красным цветом выделено место стоянки конкретного робота-курьера. Серым цветом обозначена траектория движения до зоны стоянки. Все размеры, указанные на рис. 5, предложены как минимальные при проектировании входной группы и внутренних помещений.

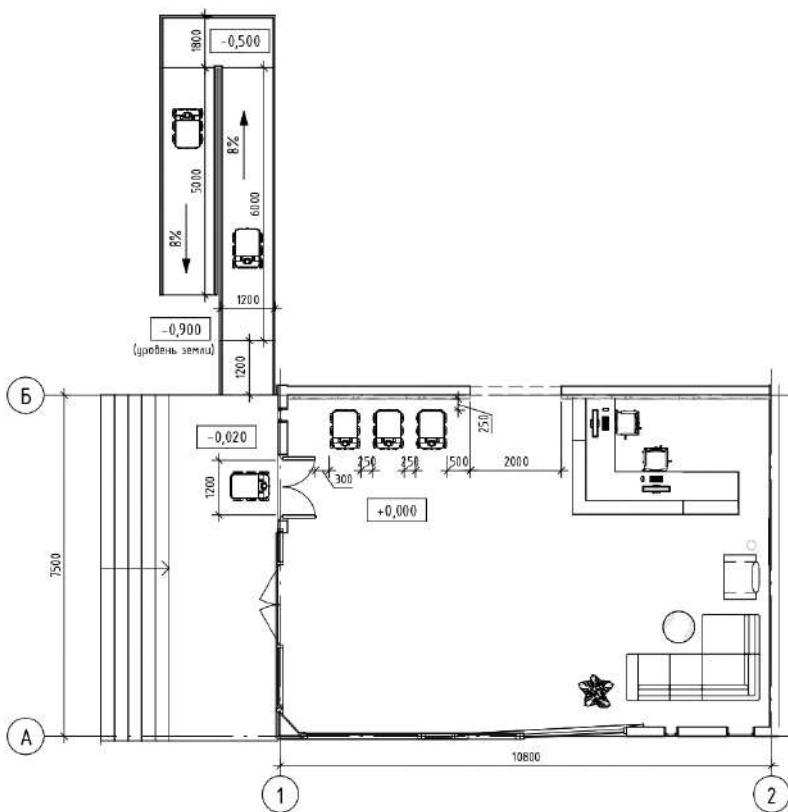


Рис. 4. План входной группы офисного здания, со спроектированным въездом трёх роботов-курьеров внутрь помещения по наклонному пандусу, через автоматические двери

Под зоной, выделенной для передвижения и стоянки роботов-курьеров, следует учесть уклон покрытия пола и систему сбора и отведения грязи и осадков, оставляемых при движении или во время стоянки. Для сбора осадков влагопитывающие покрытия могут не подойти, так как при развороте робот-курьер будет сминать их колёсами.

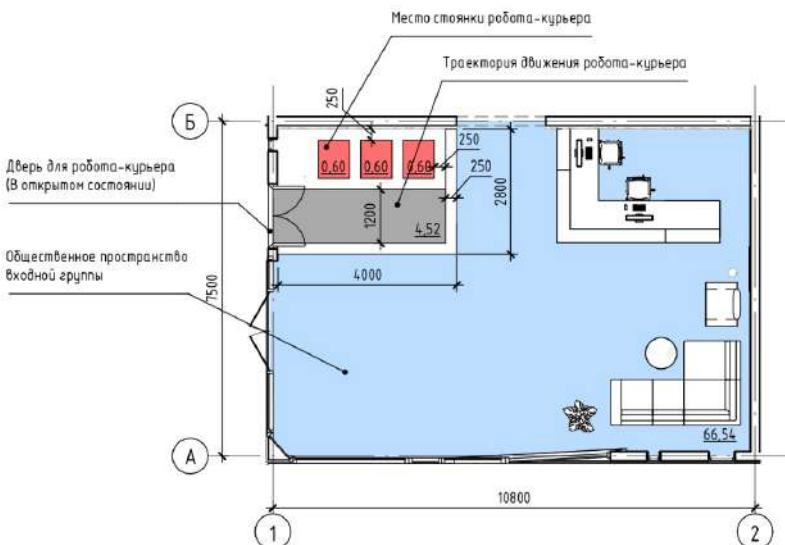


Рис. 5. Зонирование входной группы с учётом заезда стоянки трёх роботов-курьеров внутрь здания

Помимо дренажной системы, в зоне стоянки роботов-курьеров возможно будет встроить систему беспроводной зарядки, подогрева или диагностики. Также зону роботов предпочтительнее отгородить от основного помещения стеклянными перегородками, учитя проход внутрь для человека.

Подход к проектированию складских и жилых зданий схож с тем, что предложен выше. В случае проектирования доступа робота-курьера в складское помещение необходимо предусмотреть дополнительную площадь для большего количества роботов-курьеров, а также путь подъезда к автоматической распределительной линии.

### Заключение

В статье параметры робота-курьера «Яндекс Ровер» были со-поставлены с параметрами человека, передвигающегося на кресле коляске. Исходя из этого, анализ имеющихся нормативных требо-

ваний к зданиям и сооружениям для маломобильных групп населения показал, что частично имеющиеся нормативные требования к входным группам подходят для робота-курьера «Яндекс Ровер».

Так же были измерены и предложены размеры робота-курьера, как стандартные для проектирования инфраструктуры для данного вида доставки. Был разработан концепт планировки входной группы офисного здания, в котором предполагается нахождение робота-курьера.

По итогу проведённой работы разработаны информационные ТИМ-модели для Autodesk Revit: Парадной офисного здания, 2-го вида автоматических дверей, робот-курьер «Яндекс Ровер».

### **Литература**

1. Роботов-курьеров больше всего ждут в Центральном и Зеленоградском округах Москвы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.superjob.ru/research/articles/115072/robotov-kurerov-bolshe-vsego-zhdut-v-centralnom-i-zelenogradskom-okrugah-moskvy/> (дата обращения: 16.03.2025).
2. Пегин П. А., Цуцкаров В. К. Анализ внешних и внутренних факторов, влияющих на эффективность деятельности транспортного предприятия // Бюллетень результатов научных исследований. 2021. Вып. 1. С. 22–32. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-1-22-32.
3. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем / П. А. Пегин, Д. В. Капский, В. В. Касьяник, В. Н. Шуть. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 198 с.
4. Пегин П. А. Влияние концепции «умного города» на транспортную архитектуру города // Промышленное и гражданское строительство. Современные тенденции развития строительства: сборник трудов I Всероссийской научно-практической конференции студентов, молодых ученых, преподавателей и специалистов строительной отрасли [Санкт-Петербург, 16 ноября 2023 г.]. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2024. С. 5–8.
5. Мясникова Е. А. Особенности организации городской среды в условиях развития беспилотных логистических систем // Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 361–364
6. СП 59.13330.2020 «СНиП 35-01-2001 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117294/> (дата обращения: 16.03.2025).
7. СП 56.13330.2021 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания». URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/140648/> (дата обращения: 16.03.2025).

## **СЕКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

**УДК: 593.3**

*Дарья Юрьевна Алексеева,  
студент*

*Надежда Владимировна Островская,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: dar7allee@gmail.com,  
ostrovskaya.nv@yandex.ru*

*Daria Yurievna Alekseeva,  
student*

*Nadezhda Vladimirovna Ostrovskaya,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: dar7allee@gmail.com,  
ostrovskaya.nv@yandex.ru*

### **РЕАКЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ИМПУЛЬСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

### **RESPONSE OF NONLINEAR OSCILLATION SYSTEM TO IMPULSE EFFECTS**

В статье рассмотрены различные подходы к решению следующей задачи динамики сооружений: амортизация объекта во время динамического воздействия. Система состоит из двух масс, одна из которой нелинейно-упруго связана с жестким основанием через амортизатор и линейно-упруго связана с меньшей массой, находящейся внутри ее. К большей массе приложено кратковременное нестационарное силовое воздействие либо система имеет заданную скорость при падении на жесткое основание. В статье предложены различные способы решения задачи: метод преобразования Лапласа, метод матричной экспоненты и метод частотной переходной функции к анализу ускорения упруго-подвешенного элемента внутри большой массы. Результаты расчетов показывают хорошую сходимость методов между собой, а также с численным решением данной задачи.

*Ключевые слова:* динамика сооружений, система с двумя массами, амортизация объекта, метод преобразования Лапласа, метод матричной экспоненты, частотный метод.

The article discusses various approaches to solving the following problem of the dynamics of structures: depreciation of an object during dynamic impact. The system consists of two masses, one of which is non-linearly-elastically connected to a rigid base through a shock absorber and linearly-elastically connected to a smaller mass

inside it. A short-term non-stationary force is applied to the larger mass, or the system has a given speed when falling on a rigid base. The article proposes various methods for solving the problem: the Laplace transform method, the matrix exponential method, and the frequency transition function method to the analysis of the acceleration of an elastic-suspended element inside a large mass. The calculation results show good convergence of the methods among themselves, as well as with the numerical solution of this problem.

*Keywords:* dynamics of structures, system with two masses, object depreciation, Laplace transformation method, matrix exponent method, frequency method.

## **Введение**

Задачи динамики конструкций и сооружений являются наиболее сложными и трудозатратными с точки зрения расчетов, однако, с другой стороны, представляют наибольший интерес и практическую значимость. Поэтому обучение студентов основам динамики конструкций и сооружений входит в обязательную образовательную программу по многим дисциплинам.

В качестве примера тренировки необходимо решать достаточно простые задачи (в простой постановке), вместе с тем детально анализируя и используя для этого достаточно весомый математический аппарат, современные средства вычислительной техники и программы [1–2].

В статье рассмотрены различные подходы к решению следующей задачи динамики сооружений: амортизация объекта во время динамического воздействия, то есть защита от динамических перегрузок во время работы и эксплуатации. Система состоит из двух масс, связанных друг с другом линейно-упругой связью и нелинейно-упругой связью с жестким основанием.

Такие системы амортизации могут применяться для защиты оборудования, а также ответственного содержимого внутри помещения или контейнера в различных отраслях. Нелинейные характеристики амортизатора, связывающего помещение и жесткое основание, могут быть обусловлены характеристиками материалов, применяемых в амортизаторе, например, композитными или анизотропными материалами [3–4].

К большей массе приложено кратковременное нестационарное силовое воздействие (например, некоторые предложенные формы

импульсов) либо система имеет заданную скорость при падении на жесткое основание.

При разработке математической модели предусмотрена возможность учета различных форм нелинейно-упругой характеристики, а также их аппроксимация кусочно-линейными функциями.

В работе решалась задача адаптировать метод преобразования Лапласа, метод матричной экспоненты и метод частотной переходной функции к анализу ускорения упруго-подвешенного элемента внутри большой массы.

### Постановка задачи

В качестве исходной схемы исследуемой конструкции была принята схема, состоящая из двух масс, одна из которой (большая по величине) недеформируемого контейнера связана с жестким основанием через амортизатор и линейно-упруго связана с меньшей массой, находящейся внутри ее (рис. 1).



Рис. 1. Расчетная схема системы с двумя степенями свободы

**Математическая модель исследуемого процесса.** Рассмотрим дифференциальные уравнения движения масс, а также представим восстанавливающую силу  $F(x)$  в виде кусочно-линейной функции.

Дифференциальные уравнения движения масс:

$$\begin{cases} M\ddot{x} + F(x) - C(y - x) = Ma(t) \\ m\ddot{y} + C(y - x) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

В (1):  $M$  – масса недеформируемого контейнера;  $m$  – масса недеформируемого содержимого;  $C$  – жесткость деформируемой связи;

зи;  $a(t)$  – ускорение массы  $M$ ;  $F(x)$  – функция характеристики амортизатора (рис. 1).

Восстановливающая сила  $F(x)$  в виде кусочно-линейной функции:

$$F(x) = c_k x - \Delta F_k, \quad (2)$$

где

$$\Delta F_k \equiv \begin{cases} 0 & \text{при } k=1 \\ \sum_{i=2}^k (c_i - c_{i-1}) x_{i-1} & \text{при } k>1 \end{cases}$$

$c_k$  – жесткость на каждом участке  $k$  (рис. 2)

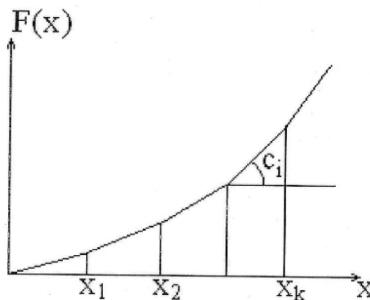


Рис. 2. Зависимость восстановливающей силы  $F(x)$  от смещения системы

Запишем начальные условия на каждом из промежутков  $x_{k-1} \leq x \leq x_k$ :

$$\begin{aligned} x|_{t=0} &= x_{k-1}, & \dot{x}|_{t=0} &= \dot{x}_{k-1}, \\ y|_{t=0} &= y_{k-1}, & \dot{y}|_{t=0} &= \dot{y}_{k-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

Трансцендентное уравнение для определения  $t_k$  на каждом  $k$ -м интервале:

$$x(t_k) = x_k \quad (4)$$

1. Решение на основе преобразования Лапласа.

Напомним, как выглядит преобразование Лапласа и применим его к системе дифференциальных уравнений движения (1):

$$\dots^L = \int_0^\infty \dots e^{-pt} dt \quad (5)$$

Разрешающая система относительно изображений для перемещений:

$$\begin{cases} (p^2 + b)x^L - dy^L = \frac{\Delta F_k}{M} \frac{1}{p} + [a(t + \tau)]^L + \dot{x}_{k-1} + x_{k-1}p \\ -fx^L + (p^2 + f)y^L = \dot{y}_{k-1} + y_{k-1}p, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$b = \frac{c_k + C}{M}, \quad d = \frac{C}{M}, \quad f = \frac{C}{m}. \quad (7)$$

В результате решение системы (6) получаем зависимости для перемещений массы  $M$ :

$$\begin{aligned} x &= W_c(f - \omega_1^2, d, \omega_1) \frac{\cos \omega_1 t}{\omega_1^2 - \omega_2^2} - W_c(f - \omega_2^2, d, \omega_2) \frac{\cos \omega_2 t}{\omega_1^2 - \omega_2^2} - \\ &- W_s(f - \omega_1^2, d, \omega_1) \frac{\sin \omega_1 t}{\omega_1^2 - \omega_2^2} - W_s(f - \omega_2^2, d, \omega_2) \frac{\sin \omega_2 t}{\omega_1^2 - \omega_2^2} + \\ &+ \frac{M^{-1} f \Delta F_k}{\omega_1^2 \omega_2^2} + I_1(t)f + I_2(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{f + b \pm \sqrt{(f - b)^2 + 4fd}}{2} \quad (9)$$

– частоты свободных колебаний масс  $M$  и  $m$ ;

$$\begin{aligned} I_1(t) &= \frac{1}{\omega_1 \omega_2 (\omega_1^2 - \omega_2^2)} \int_0^t a(t + \tau - \bar{t}) (\omega_1 \sin \omega_2 \bar{t} - \omega_2 \sin \omega_1 \bar{t}) d\bar{t}, \\ I_2(t) &= \frac{1}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \int_0^t a(t + \tau - \bar{t}) (\omega_1 \sin \omega_1 \bar{t} - \omega_2 \sin \omega_2 \bar{t}) d\bar{t}, \end{aligned} \quad (10)$$

*2. Решение с помощью матричной экспоненты.*

Представим вектор решения системы уравнений (1) следующим образом:

$$Z_{(k)} = \begin{pmatrix} y & x & \dot{y} & \dot{x} \end{pmatrix}^T \quad (11)$$

$$\dot{Z}_{(k)} + A_{(k)} Z_{(k)} = \sum \Phi_k f_i(t) \quad (12)$$

где матрицы  $A_k$ ,  $M^{-1}C_k$ , и вектора  $\Phi_k$ ,  $Z_0$  могут быть представлены в следующем виде:

$$A_k = \begin{pmatrix} [0] & -I \\ M^{-1}C_k & [0] \end{pmatrix}, \quad M^{-1}C_k = \begin{pmatrix} \frac{C}{m} & -\frac{C}{m} \\ -\frac{C}{M} & \frac{c_k + C}{M} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$M^{-1}C_k = \begin{pmatrix} \frac{C}{m} & -\frac{C}{m} \\ -\frac{C}{M} & \frac{c_k + C}{M} \end{pmatrix}, \quad Z_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & v_0 & v_0 \end{pmatrix}^T.$$

Решение для  $Z_{(k)}$  может быть получено в следующем виде:

$$Z_{(k)} = e^{-A_k t} Z(0) + \sum Z_{(k)}(t) \Phi_k, \quad (14)$$

где

$$Z_{(k)}(t) = \int_0^t e^{-A_k(t-\tau)} f_k(\tau) d\tau = e^{A_k t} \int_0^t e^{-A_k \tau} f_k(\tau) d\tau$$

$$f_1 = 1 : Z_1 = e^{-At} A^{-1} (e^{At} - I) = A^{-1} (I - e^{-At})$$

$$f_2 = t^n : Z_2 = A^{-1} t^n - n A^{-2} t^{n-1} + n(n-1) A^{-3} t^{n-2} - \dots \quad (15)$$

$$\dots - (-1)^n n! A^{-n} t + (-1)^n n! A^{-(n+1)} (I - e^{-At})$$

$$f_3 = e^{-\lambda t} : Z_4 = e^{-At} \int_0^1 e^{(A-\lambda I)\tau} \tau d\tau = (A - \lambda I)^{-1} (e^{-\lambda t} - e^{-At})$$

Алгоритм вычисления матричной экспоненты (рис. 3):

$$P(\tau) = e^{-\lambda} P_0 \quad (16)$$

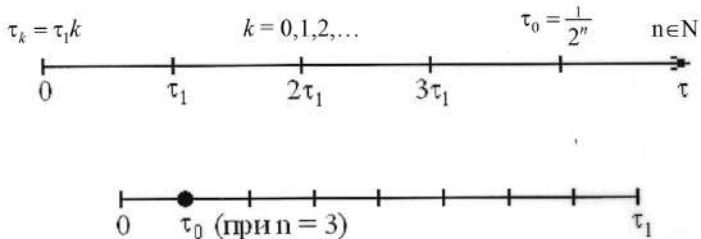


Рис. 3. К определению  $\tau$  при вычислении матричной экспоненты

Тогда  $e^{-A_0}$  может быть определено следующим образом:

$$e^{-A_0} = \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(-A)^s \tau^s}{s!} \approx \left( I + \frac{1}{2} A\tau_0 + \frac{1}{8} A^2 \tau_0^2 \right)^{-1} \left( I - \frac{1}{2} A\tau_0 + \frac{1}{8} A^2 \tau_0^2 \right)$$

$$e^{-A_1} = \underbrace{\left( \left( \left( e^{-A_0} \right)^2 \right)^2 \cdots \right)}_n^2 \quad (17)$$

$$P(\tau_1, k) = e^{-A\tau_1} P(\tau_1(k-1)) \quad (18)$$

### 3. Частотный метод исследования

Примем следующие обозначения в качестве исходных для частотного метода исследования:

$a_x(t)$  – возмущающее входное воздействие,

$a_y(t)$  – выходная реакция системы.

Применим преобразования Фурье к входному воздействию

$$a_x^F(\omega) = \int_0^{\infty} e^{-i\omega t} a_x(t) dt, \quad (19)$$

$$a_x^F(\omega) = Re \left[ a_x^F \right] + iIm \left[ a_x^F \right] = \left| a_x^F \right| e^{iArg \left[ a_x^F \right]}, \quad (20)$$

где

$$Re \left[ \mathbf{a}_x^F \right] = \int_0^\infty a_x(t) \cos \omega t dt,$$

$$Im \left[ \mathbf{a}_x^F \right] = - \int_0^\infty a_x(t) \sin \omega t dt,$$

$$Im \left[ \mathbf{a}_x^F \right] = - \int_0^\infty a_x(t) \sin \omega t dt,$$

$$\left[ \mathbf{a}_x^F \right] = arctg \frac{Im \left[ \mathbf{a}_x^F \right]}{Re \left[ \mathbf{a}_x^F \right]}$$

Комплексный коэффициент передачи системы

$$\frac{\mathbf{a}_y^F(\omega)}{\mathbf{a}_x^F(\omega)} = K(\omega) e^{if(\omega)}, \quad (21)$$

где

$$K(\omega) = \frac{\sqrt{\left( Re \left[ \mathbf{a}_y^F \right] \right)^2 + \left( Im \left[ \mathbf{a}_y^F \right] \right)^2}}{\sqrt{\left( Re \left[ \mathbf{a}_x^F \right] \right)^2 + \left( Im \left[ \mathbf{a}_x^F \right] \right)^2}}, f(\omega) = \\ = \text{Arg}[\mathbf{a}_y^F] - \text{Arg}[\mathbf{a}_x^F], \quad (22)$$

– амплитудная частотная характеристика и фазовая характеристика системы соответственно.

Закон измерения во времени выходной реакции определяется с помощью обратного преобразования Фурье:

$$a_y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty Re \left[ \mathbf{a}_y^F(\omega) \right] \cos \omega t d\omega = \\ = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty Re \left[ W(\omega) \mathbf{a}_x^F(\omega) \right] \cos \omega t d\omega \quad (23)$$

### Вычислительный эксперимент

Проанализируем полученные результаты на числовом примере со следующими параметрами:

$$M = 260 \text{ кг}, m = 6 \text{ кг}, C = 450 \frac{\text{kH}}{\text{мм}}, H = 9000 \text{ мм},$$

$$y_0 = x_0 = 0, y_0' = x_0' = 0, g = 9,81 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мм}}{\text{мс}^2}.$$

Характеристика восстановливающей силы будет рассмотрена в жесткой и мягкой постановке.

1. Жесткая характеристика восстановливающей силы:

$$F(x) = \frac{2R^2}{3\cos(\alpha)} \left( \frac{2x}{R\sin(\alpha)} \right)^{3/2} \sigma_{\phi}, \quad (24)$$

где  $\sigma_{\phi} = 3 \times 10^{-3} \frac{\text{kH}}{\text{мм}^2}$ ,  $R = 282 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 0,52$ .

Параметры жесткости восстановливающей силы на каждом участке  $k$  согласно характеристике (11) будут следующие:

$$C_k : \left\{ \begin{array}{l} 1.39768, 2.555556, 3.30932, 3.91888, \\ 4.4151, 4.91508, 5.34378 \end{array} \right\}^T \frac{\text{kH}}{\text{мм}}.$$

2. Мягкая характеристика восстановливающей силы:

$$F(x) = 2L\sqrt{2 \cdot x \cdot R}\sigma_{\phi}, L = 900 \text{ мм}. \quad (25)$$

Параметры жесткости восстановливающей силы на каждом участке  $k$  согласно характеристике (12) будут следующие:

$$C_k : \left\{ \begin{array}{l} 57.352, 23.756, 18.2286, 15.3674, 13.539, 12.2402, \\ 11.256, 10.4768, 9.84004, 9.30694 \end{array} \right\}^T \frac{\text{kH}}{\text{мм}}.$$

Результаты решения системы уравнений (6) для жесткой характеристики при внезапно приложенной силе (ускорении) приведены на рис. 4. Результаты решения системы уравнений (6) для жесткой характеристики при заданной начальной скорости и внезапно приложенной силе приведены на рис. 5. Аналогичные результаты для мягкой характеристики при внезапно приложенной силе (ускорении) приведены на рис. 6.

Результаты решения системы уравнений (6) с помощью матричной экспоненты приведены для жесткой характеристики с линейной разгрузкой (рис. 7) на рис. 8.

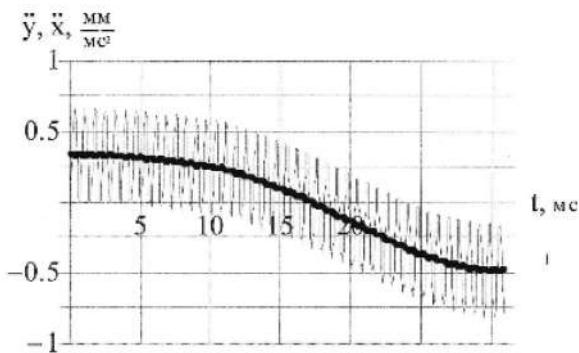


Рис. 4. Зависимость ускорений масс  $M$  и  $m$  от времени в случае приложения к массе  $M$  ускорения  $a_0 = 35 \text{ г}$

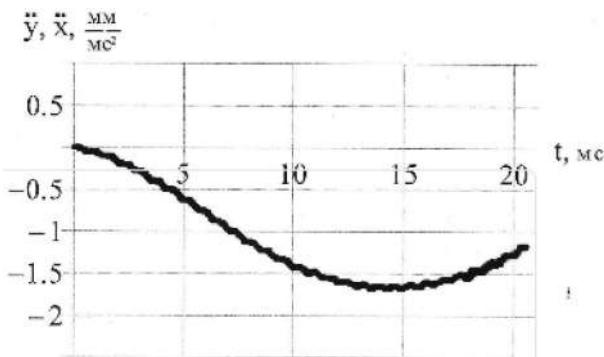


Рис. 5. Зависимость ускорений масс  $M$  и  $m$  от времени в случае приложения к массе  $M$  ускорения

$$a_0 = g, \dot{y}_0 = \dot{x}_0 = \dot{v}_0 = \sqrt{2gH}$$

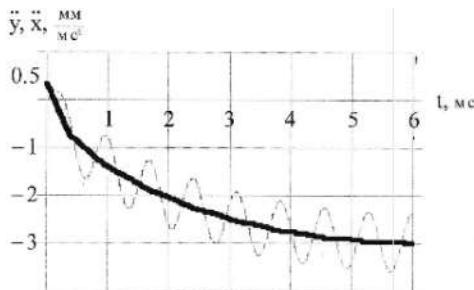


Рис. 6. Зависимость ускорений масс  $M$  и  $m$  от времени в случае приложения к массе  $M$  ускорения  $a_0 = 35 g$

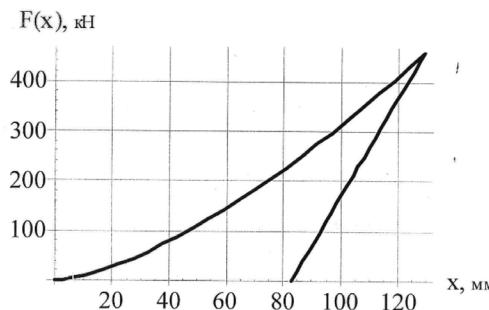


Рис. 7. Жесткая характеристика восстанавливающей силы, с линейной разгрузкой

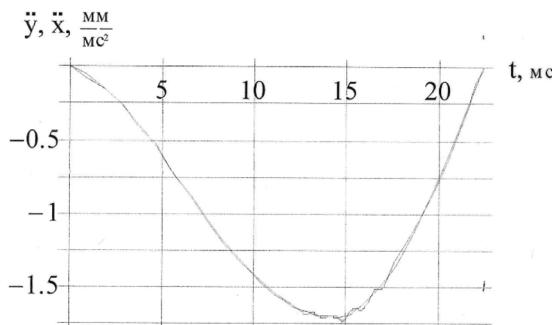


Рис. 8. Зависимость ускорений масс  $M$  и  $m$  от времени

В качестве примера использования частотного метода приведем результаты исследования транспортного упаковочного комплекта (рис. 9) [5]. Разбиение осциллограмм ускорений при численном определении спектральных характеристик приведено на рис. 10, а частотная характеристика системы и закон изменения во времени выходной реакции системы, полученные аналитически, показаны на рис. 11 и 12 соответственно.



Рис. 9. Схема транспортного упаковочного комплекта

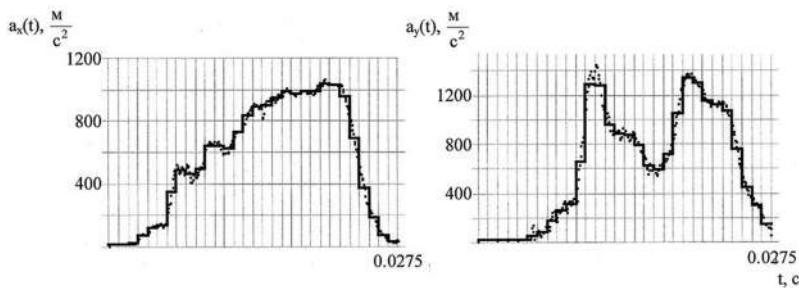


Рис. 10. Разбиение осциллограмм ускорений при численном определении спектральных характеристик

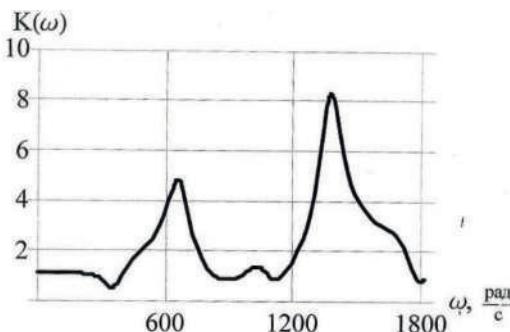


Рис. 11. Частотная характеристика системы

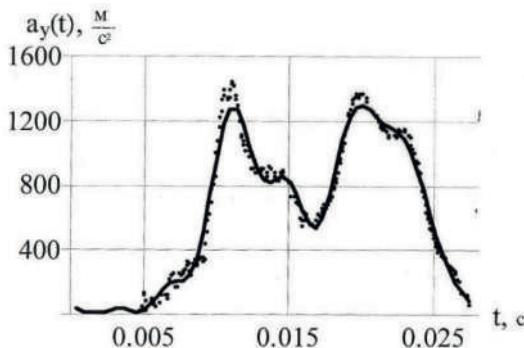


Рис. 12. Закон изменения во времени выходной реакции системы

### Заключение

Предложено аналитическое решение задачи амортизации объекта во время динамического воздействия тремя различными методами. Для системы с двумя массами разработана математическая модель, позволяющая учитывать различные формы нелинейно-упругой характеристики амортизатора, а также их аппроксимация кусочно-линейными функциями. Приведены примеры численной реализации полученных аналитических алгоритмов всех трех методов. Результаты расчетов показывают хорошую сходимость двух

первых методов, а использование частотного метода совпало с результатами исследования транспортного упаковочного комплекта численными методами в программном комплексе.

В работе решалась задача адаптировать метод преобразования Лапласа, метод матричной экспоненты и метод частотной переходной функции к анализу ускорения упруго-подвешенного элемента внутри большой массы. Полученные подходы позволяют при дальнейшей проработке проблемы изучить возможность анализа многоассовой системы.

### **Литература**

1. Лукашевич А. А., Островская Н. В. Применение компьютерных и программных средств при изучении строительной механики на специальности СУЗС. В сборнике: Педагогические параллели. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 382–388.

2. Копылов А. И., Островская Н. В. Применение пакета MATHCAD для решения плоской задачи теории упругости. В сборнике: Перспективы современного строительства. Сборник статей участников II Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 539–556.

3. Skvortsov V., Krakhmalev S., Koissin V., Shipsha A. Non-stationary oscillations of sandwich plates under local dynamic loading. В сборнике: Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration. sponsors: International Institute of Acoustics and Vibration, IIAV, Royal Institute of Technology, KTH, Scandinavian Vibration Society, SVIB; editors: A. Nilson, H. Boden. Stockholm, 2003. С. 2333–2341.

4. Koissin V., Skvortsov V., Shipsha A. Stability of the face layer of sandwich beams with sub-interface damage in the foam core. Composite Structures. 2007. Т. 78. № 4. С. 507–518.

5. Крахмалев С. Ю. Динамические контактные задачи для тонкостенных конструкций с пористым заполнителем : дис. ... на соискание степени канд. техн. наук / С. Ю. Крахмалев. – Санкт-Петербург : СПбГМТУ, 2004. – 108 с.

**УДК 593.3**

Денис Айаратович Зайнулин,  
студент  
Надежда Владимировна Островская,  
канд. техн. наук, доцент  
Сергей Сергеевич Тетушкин,  
ассистент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: malay-t@inbox.ru,*  
*ostrovskaya.nv@yandex.ru,*  
*i@stetushkin.ru*

*Denis Ayaratovich Zaynulin,*  
student  
*Nadezhda Vladimirovna Ostrovskaya,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
*Sergey Sergeyevich Tetushkin,*  
assistant lecturer  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: malay-t@inbox.ru,*  
*ostrovskaya.nv@yandex.ru,*  
*i@stetushkin.ru*

## **НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ПОДХОД К ОБУЧЕНИЮ СТУДЕНТОВ СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ**

### **A POPULAR SCIENCE APPROACH FOR TEACHING STUDENTS EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION**

Современные образовательные подходы выдвигают требования повышения наглядности преподавания технических дисциплин, особенно таких сложных областей, как строительная механика и проектирование сейсмостойких сооружений. Настоящая статья посвящена разработке эффективных способов достижения визуализации и квазиэкспериментальных эффектов при изучении указанных предметов. Предлагается использование масштабированных лабораторных экспериментов, наглядно отражающих процессы деформирования и работы целых конструкций. Такой подход направлен на повышение вовлеченности студентов, улучшение восприятия сложного материала и развитие инженерного мышления. Важность подобного метода обусловлена современными тенденциями, согласно которым студенты чаще обращаются к мультимедийному контенту для лучшего понимания изучаемых явлений. Использование представленных методик позволит повысить качество профессиональной подготовки будущих специалистов, обеспечит лучшее восприятие теории и облегчит переход к практике проектирования зданий и сооружений, обеспечивающих высокий уровень сейсмостойкости.

*Ключевые слова:* сейсмостойкое строительство, виброплатформа, элементы строительных конструкций, строительная механика.

Modern educational approaches put forward the requirements for improving the clarity of teaching technical disciplines, especially such complex areas as con-

struction mechanics and the design of earthquake-resistant structures. This article is devoted to the development of effective ways to achieve visualization and quasi-experimental effects when studying these subjects. It is proposed to use scaled laboratory experiments that clearly reflect the processes of deformation and operation of entire structures. This approach aims to increase student engagement, improve the perception of complex material, and develop engineering thinking. The importance of this method is due to modern trends, according to which students more often turn to multimedia content to better understand the phenomena under study. The use of the presented methods will improve the quality of professional training of future specialists, provide a better perception of the theory and facilitate the transition to the practice of designing buildings and structures that provide a high level of seismic resistance.

*Keywords:* earthquake-resistant construction, vibration platform, elements of building structures, construction mechanics, scientific.

## **Введение**

Обучение студентов в технических вузах любого направления, но строительного особенно, сопряжено с изучением на старших курсах ряда специальных дисциплин, таких как сейсмостойкое строительство зданий и сооружений. Однако, для освоения этих дисциплин прежде всего необходимо в достаточном объеме владеть строительной механикой [1-2].

Как помочь студентам понять сложные механизмы и процессы, происходящие во время работы реальных строительных конструкций и их отдельных элементов? Как сделать обучение различным дисциплинам механического цикла более наглядным и популярным [3]? Ответы на эти вопросы будем искать в предложенных в статье подходах и методиках преподавания [4-5]. Наиболее наглядным способом обучения студентов является натурный эксперимент, однако, этот способ обучения в то же время является и самым трудозатратным и дорогостоящим. В качестве альтернативы реальным испытаниям конструкций могут быть рассмотрены различные способы изучения строительной механики конструкций:

- конструктор, обретший популярность за рубежом среди строительных вузов, «Mola Structural»\*, модель которого представлена на рис. 1;

---

\* [Https://molamodel.com/](https://molamodel.com/)

- изучение сейсмостойкости здания на примере поведения стержневого металлического конструктора на виброплатформе;
- изучение сейсмостойкости системы сооружение-фундамент, созданной из любого подручного материала;
- усовершенствованный макаронный строитель.

Далее рассмотрим более подробно каждый из предложенных методов.



Рис. 1. Конструкция из деталей комплекта Mola Structural Kit

### Методы популяризаторских подходов

Конструктор Mola Structural представляет собой макет для создания наглядной работы уменьшенной в масштабе конструкции. Каждый комплект содержит в себе элементы для моделирования шарнирных и жестких соединений, элементы связей, нити или трасс, стержневые элементы и элементы пластиин, элементы опор, а также инструкции к каждому набору. Помимо комплектов имеются дополнительные запчасти. Конструктор имеет бесчисленное множество вариантов конструкций. Примеры конструкций, собранных из элементов данного набора, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Конструктивные схемы, собранные из деталей комплекта Mola Structural Kit

При визуальном анализе моделей стоит обратить внимание не только на вариативность жесткостных характеристик элементов, но и на вариативность узлов. Примеры вариативности узлов представлены на рис. 3.

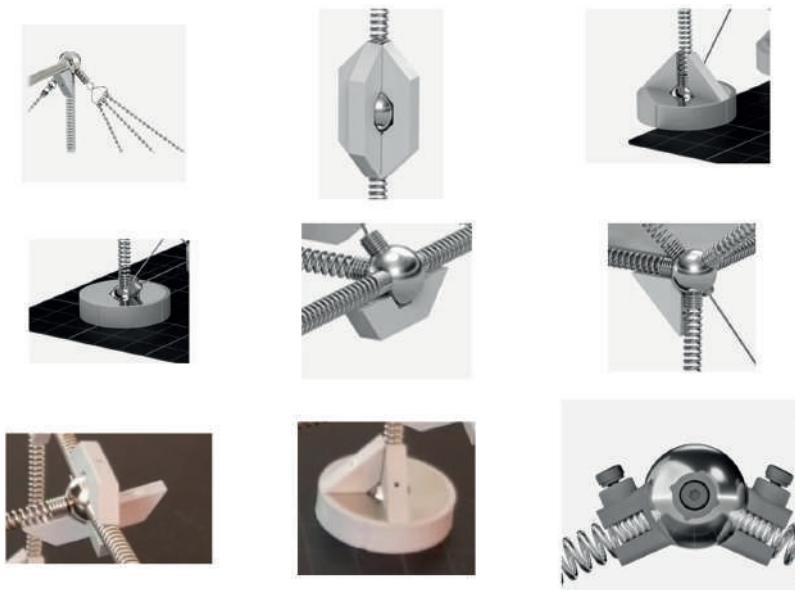


Рис. 3. Вариативность узлов

Большая вариативность конструктивных схем и узлов позволяет создавать модели разных уровней сложности, на которых можно исследовать статические и динамические задачи конструкций. Элементы, которые содержатся в наборах, представлены в табл. 1. Типы основных наборов, их содержимое и цена представлены в табл. 2.

Таблица 1

Элементы, содержащиеся в наборах

Название		Фото
на английском	на русском	
Connection	Шарнир/ соединение	
Rigid Connection	Жесткое соединение	
Ground Connection	Опоры	
Cable	Тросс	
Cable Connection	Соединение каната	
Cable Clip Connection	Кабельное зажимное соединение	
Multiple Cable Clip Connection	Многозажимное кабельное зажимное соединение	

## Продолжение табл. 1

Название		Фото
на английском	на русском	
Cable Ring small	Малое кабельное кольцо	
Cable Ring medium	Среднее кабельное кольцо	
Bar B6 Bar B12	Балка В6 Балка В12	
Bar Stiffener B6 Bar Stiffener B12	Ребро жесткости балки В6 Ребро жесткости балки В12	
Diagonal D6x6 Diagonal D6x12	Нить (Диагональная связь) D6x6 Нить (Диагональная связь) D6x12	
Arch A6x6	Арка А6х6	

Продолжение табл. 1

Название		Фото
на английском	на русском	
Ground	Основание	
Plate P6x6	Плиты Р6х6	
Plate P6x12	Плиты Р6х12	
Adjustable Connection	Регулируемое соединение	

## Окончание табл. 1

Название		Фото
на английском	на русском	
Paper Sheets	Бумажные листы	
Continuous Connection CC Continuous Connection CC90	Непрерывное соединение СС Непрерывное соединение СС90	
Surface Connection	Соединение поверхности	

*Примечание:*

1. Цифра индекса типов балок, арок, плит, нитей означает их типоразмер длины.
2. Цифра индекса у типов непрерывного соединения означает их типо-размер соединения.

Таблица 2

Типы основных наборов, их содержимое и цена

Название	Содержимое комплекта	Цена, \$
Mola Structural Kit 1	<ul style="list-style-type: none"><li>● Connection: 12 units</li><li>● Rigid Connection: 48 units</li><li>● Ground Connection: 4 units</li><li>● Bar B6: 24 units</li><li>● Bar B12: 6 units</li><li>● Diagonal D6x6: 12 units</li><li>● Diagonal D6x12: 12 units</li><li>● Plate P6x12: 3 units</li><li>● Ground: 1 unit</li><li>● Book/Manual: 1 unit</li></ul>	189.00
Mola Structural Kit 2	<ul style="list-style-type: none"><li>● Connection: 18 units</li><li>● Rigid Connection: 12 units</li><li>● Continuos Connection: 12 units</li><li>● Continuos Connection 90: 12 units</li><li>● Ground Connection: 6 units</li><li>● Bar B4: 18 units</li><li>● Bar B6: 30 units</li><li>● Diagonal D4x6: 24 units</li><li>● Diagonal D6x6: 9 units</li><li>● Plate P6x6: 3 units</li><li>● Ground: 1 unit</li><li>● Book/Manual: 1 unit</li></ul>	199.00
Mola Structural Kit 3	<ul style="list-style-type: none"><li>● Connection: 18 units</li><li>● Rigid Connection: 12 units</li><li>● Ground Connection: 8 units</li><li>● Cable: 1 unit (3.35m)</li><li>● Cable Connection: 24 units</li><li>● Cable Clip Connection: 50 units</li><li>● Multiple Cable Clip Connection: 4 units</li><li>● Cable Ring smal: 10 units</li><li>● Cable Ring medium: 10 units</li><li>● Bar B6: 30 units</li><li>● Bar B12: 9 units</li><li>● Bar Stiffener B6: 3 units</li></ul>	219.00

Окончание табл. 2

Название	Содержимое комплекта	Цена, \$
Mola Structural Kit 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bar Stiffener B12: 6 units</li> <li>● Diagonal D6x6: 9 units</li> <li>● Diagonal D6x12: 9 units</li> <li>● Ground: 2 unit</li> <li>● Book/Manual: 1 unit</li> <li>● Cutter Tool: 1 unit</li> </ul>	219.00
Mola Structural Kit 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Connection: 12 units</li> <li>● Rigid Connection: 24 units</li> <li>● Continuous Connection: 6 units</li> <li>● Surface Connection: 10 units</li> <li>● Allen Key: 1 unit</li> <li>● Ground Connection: 8 units</li> <li>● Bar – B3: 18 units</li> <li>● Bar – B6: 18 units</li> <li>● Bar – B12: 3 units</li> <li>● Arch – A6x6: 6 units</li> <li>● Diagonal – D3x3: 6 units</li> <li>● Diagonal – D3x6: 9 units</li> <li>● Diagonal – D6x6: 9 units</li> <li>● Paper Sheets: 14 units</li> <li>● Ground: 1 units</li> </ul>	229.00

*Примечание:*

1. Units (с англ. штук).
2. Подробнее можно ознакомиться на сайте производителя – <https://molamodel.com/collections/all/>
3. Предзаказ на Mola Structural Kit 4 доступен в июне 2025 года.

## Виброплатформа

Имея упрощенную модель сооружения, вполне реализуемо исследование в области влияния основания на сооружение. Упрощенную модель можно получить различными способами, в том числе и из подручных средств, то есть реализация строительства конструкции и ее эксплуатации в условиях динамического воздействия может быть создана буквально на глазах у обучаемых за короткое время.

В качестве второго компонента в системе сооружение-основание можно использовать аналог виброплатформы, как, например, в интерактивном музее «Галилео», расположенном в городе Санкт-Петербурге. Там имеется аттракцион, состоящий из башни, собранной из блоков «Дженго», и виброплатформы с панелью управления, на которой имеются кнопки со значениями магнитуды по Рихтеру. Фотография аттракциона представлена на рис. 4.



Рис. 4. Фото аттракциона «Виброплатформа»

Колебания виброплатформы являются гармоническими, с повышением цифры соответственно повышается частота колебаний. Предполагается, что на основе данной плиты будет сделана аналогичная, но движение будет задаваться функцией, а направление движения будет регулироваться компонентами графиков, тем самым приближая движение основания к реальному. Также в планах реализовать место для грунтового массива в данной конструкции.

Примером простейшей реализации грунтового массива, конструкции сооружения с элементами сейсмогашения, а также наглядное пособие по определению собственных частот сооружения, может служить мастер-класс «Лаборатория Бурдж-Халифа» от проекта Sciencely и «Глазами инженера»\* в Санкт-Петербурге. В лаборатории можно изучить историю небоскребов и узнать, как при увеличении их высоты изменялись инженерные решения в их постройке. Также наглядно показано, как устроен фундамент одного из самых высоких зданий в мире башни Бурдж-Халифа и зачем в конструкции небоскребов размещают маятники (рис. 5).



Рис. 5. Экспозиция «Лаборатория Бурдж-Халифа»

Также сочетание простейшей конструкции, например, реализованной в качестве дополнительного задания к увлекательному конкурсу для студентов «Макаронный строитель», реализуемому в большинстве строительных вузов или колледжей. Конструкция, выполненная из макарон, должна обладать определенными конструктивными решениями, способными выдержать динамические

\* [Https://scienclely.ru/](https://scienclely.ru/) и <https://engineer-history.ru/>

нагрузки, имитирующие землетрясение. Для проведения конкурса необходима площадка, оборудованная специальным вибростолом для моделирования землетрясений различной интенсивности.

### **Заключение**

Для реализации научно-популярного подхода к изучению строительной механики в техническом вузе можно воспользоваться следующим комплексом мер, направленных на популяризацию науки:

1. Использование интерактивных методов обучения: применение компьютерных симуляций и виртуальных лабораторий позволяет студентам наглядно увидеть процессы деформации конструкций, развитие трещин и поведение материалов под нагрузкой.

2. Интеграция проектной деятельности: студенты выполняют проекты, направленные на решение реальных инженерных задач, что помогает закрепить теоретический материал и развить практические навыки.

3. Проведение экскурсий и мастер-классов: посещение строительных площадок, заводов железобетонных изделий и исследовательских центров способствует формированию интереса к профессии и расширению кругозора студентов.

4. Организация научных мероприятий: проведение конференций, семинаров и олимпиад стимулирует интерес к науке и инженерному делу среди студентов.

Таким образом, сочетание традиционных форм обучения с современными интерактивными технологиями и практической направленностью занятий создает условия для успешного освоения студентами дисциплины «Строительная механика» и формирования устойчивого интереса к будущей профессиональной деятельности.

Такой подход позволяет сделать изучение строительного дела увлекательным и доступным даже для начинающих инженеров-строителей, формируя понимание базовых принципов расчетов сейсмостойкости и стимулируя интерес к дальнейшему изучению науки о строительстве и проектировании надежных конструкций.

### **Литература**

1. Лукашевич А. А., Островская Н. В. Применение компьютерных и программных средств при изучении строительной механики на специальности СУЗС. В сборнике: Педагогические параллели. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 382–388.
2. Копылов А. И., Островская Н. В. Применение пакета Mathcad для решения плоской задачи теории упругости. В сборнике: Перспективы современного строительства. Сборник статей участников II Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 539–556.
3. Гордон Джеймс. Конструкции. Почему они стоят и почему разваливаются. Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2020. 480 с.
4. Окомелков А. К., Лагунова М. В. Потенциал дисциплины «техническая механика» в междисциплинарном взаимодействии при подготовке техников-строителей // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 5. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.30137>.
5. Малиевская А. В., Стота Н. В. Современное значение строительной механики в строительстве и внедрение инновационных технологий. Материалы 80-й студенческой научно-технической конференции. БНТУ, 2024. С. 85–86.

**УДК 624.21**

Ольга Вадимовна Михайлова,  
студент  
Дмитрий Андреевич Ярошутин,  
ст. преподаватель  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: olya.mikhailovaaa@yandex.ru,*  
*yaroshutin.spbgasu@gmail.com*

*Olga Vadimovna Mikhailova,*  
student  
*Dmitry Andreevich Yaroshutin,*  
senior lecturer  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: olya.mikhailovaaa@yandex.ru,*  
*yaroshutin.spbgasu@gmail.com*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАЗРУШЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОДУЛЬНОГО ТИПА**

### **ANALYSIS OF THE CAUSES OF DAMAGE AND DESTRUCTION OF MODULAR TYPE EXPANSION JOINTS**

В работе рассматриваются возможные повреждения модульных деформационных швов и причины их возникновения. На модульные деформационные швы проезжей части автодорожных и городских мостов одновременно воздействует большое количество факторов – динамическая вертикальная и горизонтальная нагрузки от колес автотранспортных средств; температурные перемещения торцов пролетных строений; воздействие окружающей среды – попадание влаги, химических реагентов в случае нарушения герметичности конструкции деформационного шва; загрязнение и попадание мусора в резиновый компенсатор; механическое воздействие снегоуборочной техники. Перечисленные факторы приводят к возникновению разнообразных повреждений и разрушению как отдельных элементов, так и всей конструкции модульных деформационных швов. Возникновение их преждевременных отказов сказывается на долговечности всего сооружения, приводит к возникновению аварийных ситуаций, снижению грузоподъёмности и возрастанию экономических затрат.

*Ключевые слова:* мост, модульный деформационный шов, повреждения, усталостные разрушения.

This paper examines possible damage to modular expansion joints and the causes of their occurrence. Modular expansion joints of highway and urban bridge decks are simultaneously subjected to many factors: dynamic vertical and horizontal

loads from vehicle wheels; thermal movements of span structure ends; environmental effects such as moisture ingress and chemical reagents in case of expansion joint sealing failure; contamination and debris accumulation in rubber compensators; mechanical impact from snow removal equipment. The mentioned factors lead to various types of damage and failure of both individual elements and the whole structure of modular expansion joints. The occurrence of premature failures affects the durability of the entire structure, leads to emergency situations, reduces load-carrying capacity, and increases economic costs.

*Keywords:* bridge, modular bridge expansion joint, damage, fatigue failures.

Модульные деформационные швы (МДШ) используются в мостостроении для восприятия больших линейных и угловых смещений торцов пролетных строений, вызванных температурными воздействиями, прогибом пролетных строений, осадкой опор, усадкой и ползучестью бетона [1]. Также МДШ обеспечивают плавный проезд автомобилей по мостовому сооружению и защищают нижележащие несущие конструкции от попадания на них влаги и химических реагентов.

На модульный деформационный шов всегда одновременно воздействует совокупность факторов. Внешние факторы, действующие на МДШ, можно поделить на несколько групп:

- обусловленные воздействием обращающегося транспорта: статическое и динамическое действие колес транспортных средств, абразивный износ и т. д.;
- обусловленные воздействием окружающей среды: попадание влаги, химических реагентов внутрь конструкции деформационного шва, загрязнение и попадание мусора в деформационный зазор, механическое повреждение зоны анкеровки и резинового компенсатора ножами снегоуборочной техники;
- прочие: сейсмическое воздействие и иные факторы, не рассматриваемые в данной работе.

В процессе эксплуатации МДШ в их элементах могут возникать различные дефекты и повреждения, снижающие их долговечность и долговечность всего сооружения. Также повреждения в МДШ влияют на безопасность движения по мосту, а в отдельных случаях и на его грузоподъёмность (безотказность).

Одной из возможных первопричин появления преждевременных отказов в работе модульных деформационных швов является разрушение или «просадка» переходной (пришовной) зоны. Этот дефект ведет к возникновению неровностей покрытия различного очертания, что приводит к значительному увеличению динамического воздействия, в том числе и на конструкции деформационных швов. Примеры таких повреждений описаны в работах [2, 3]. В работе [2] в конструкциях МДШ, рассчитанных на перемещение 100 мм, были выявлены повреждения покрытия, такие как выбоины и колейность, в зоне примыкания к деформационному шву, что приводило к ударам колес автотранспорта о деформационный шов и вызывало ухудшение условий работы конструкции шва. В работе [3] описывается случай полного разрушения конструкции модульного деформационного шва, рассчитанного на перемещение 160 мм и произошедшего в период заявленного производителем срока службы. Предполагаемой причиной преждевременного отказа конструкции деформационного шва стало сверхнормативное повышение динамических вертикальной и горизонтальной составляющей от проходящих эксплуатационных нагрузок вследствие просадки переходной плиты, а также образования порожка перед стальным окаймлением шва из-за износа переходной зоны, что привело к образованию сколов бетона под стальными коробами и увеличению их податливости с последующим изменением расчётной схемы несущих элементов – траверс деформационного шва (рис. 1).



Рис. 1. Скол бетона под траверсным коробом,  
заделанным в шкафную стенку устоя

В работе [4] авторами выделяются три группы причин снижения долговечности модульных деформационных швов:

- ошибки монтажа и проектирования;
- износ эластомерных элементов (компенсаторы, опорные подушки, амортизаторы, пружины);
- образование усталостных трещин в несущих стальных элементах и их соединениях.

Авторами работы [4] отмечено, что недостаточное уплотнение бетона под траверсными коробами является распространённой проблемой, приводящей к возникновению просадок и податливости стального траверсного короба, приводящей к изменению расчётной схемы модульного деформационного шва (увеличению пролета несущих элементов – траверс) и, как следствие, к увеличению внутренних усилий и напряжений. Повышение напряжений за счёт увеличения пролета траверс в конструкциях МДШ приводит к ускоренному образованию усталостных трещин, что также было отмечено в отчете [3].

Ещё одной проблемой, связанной с несоблюдением технологии установки модульных деформационных швов, является попадание бетона внутрь траверсного короба при монтаже, что препятствует температурным перемещениям элементов деформационного шва и приводит к разрушению сварного шва, объединяющего траверсу и ламель, вследствие достижения касательными напряжениями предельных значений. Подобные повреждения также описываются в работе [5].

Неверное конструктивное исполнение несущих элементов МДШ может служить причиной увеличения нагрузки на его элементы, повышения действующих напряжений, ускоренного износа и развития усталостных повреждений. Например, увеличение пролета ламелей приводит к увеличению изгибающих моментов, а как следствие – размахов напряжений, определяющих величину усталостных повреждений.

С другой стороны, уменьшение пролетов ламелей неизбежно ведёт к увеличению цены деформационного шва, так как увеличивается количество стальных коробов и траверс.

К эластомерным элементам относят компенсаторы, пружины, регулирующие зазор между продольными несущими элементами шва, амортизаторы и опорные элементы (подушки).

Незначительный дефект, такой как попадание мусора в резиновый компенсатор, может привести к тому, что колеса проезжающих машин выдавят компенсатор, надавливая на попавший мусор. Несмотря на то что конструкция компенсатора МДШ позиционируется производителями как самоочищающаяся (при раскрытии деформационного шва мусор выталкивается), фактический опыт эксплуатации показывает, что многие проектировщики принимают конструкцию деформационного шва «в запас», препятствуя тем самым самоочищению шва от мусора [4]. Другими распространенными повреждениями резиновых компенсаторов являются: повреждения ножами снегоуборочной техники и выпадение вследствие перерастяжения шва [5, 6]. Все вышеперечисленные повреждения резинового компенсатора приводят к потере деформационным швом его герметизирующих свойств, что, в свою очередь, приводит к коррозии его несущих стальных элементов, обледенению амортизаторов и опорных элементов, а также деградационному разрушению бетона или коррозии стали при опорной зоне балок пролетных строений вследствие их обводнения.

Возможным дефектом эластомерных опорных подушек является потеря их предварительного обжатия с последующим смещением (а в отдельных случаях – выпадением), что приводит к увеличению пролета траверс и ускоренному усталостному разрушению несущих элементов деформационного шва. Потеря предварительного обжатия может происходить из-за накопления остаточных деформаций сжатия в эластомерных опорных элементах, возникающих при проезде грузовых транспортных средств. Также эластомерные элементы подвержены усталостным разрушениям и абразивному износу [7, 8].

Еще одной причиной преждевременного отказа модульных деформационных швов является усталость материала. Усталостные разрушения, возникающие под действием многократно повторяющейся нагрузки, начинаются с образования микротрещин, разви-

вающихся под циклической нагрузкой вплоть до полного разрушения материала.

Усталостные разрушения характеризуются зависимостью между размахом напряжений и количеством циклов нагрузки. Наиболее подвержены усталости несущие металлические элементы деформационного шва и ихстыки, в особенности сварныестыки ламелей с траверсами и рамками [4].

В исследовании [9] усталостные разрушения сварных соединений деформационных швов выделяются в качестве одной из наиболее распространённых проблем, связанной с модульными деформационными швами. Усталостная прочность компонентов деформационного шва, по большей части, определяется диапазоном местных напряжений, возникающих при проезде транспортных средств. В свою очередь, эти напряжения связаны с величиной осевой нагрузки, которая увеличивается за счет динамического коэффициента, что показывает важность устранения таких дефектов, как колейность покрытия в переходной зоне, наличие выбоин или просадок переходной плиты.

В качестве интересного наблюдения можно отметить, что увеличение нагрузки на ось транспортного средства не всегда вызывает пропорциональное увеличение усталостных повреждений, поскольку увеличение нагрузки на ось приводит к увеличению отпечатка колеса, воздействующего только частично на несущие элементы МДШ.

В работе [3] ускорению процесса усталостного разрушения несущих элементов деформационного шва с образованием сквозного разлома ламели (рис. 2, а), последующим хрупким разрушением траверсы (рис. 2, б) и полным разрушением конструкции шва привело сочетание одновременного действия множества факторов, в том числе: разрушение пришовной зоны, просадка переходной плиты и образование порожка перед стальным окаймлением. Преждевременный отказ конструкции модульного деформационного шва – это всегда результат воздействия совокупности факторов.



Рис. 2. Усталостный излом ламели (а) модульного деформационного шва с последующим хрупким разрушением траверсы (б)

В последние годы появилось много работ, исследующих усталостную долговечность МДШ под действием многократно повторяющейся нагрузки от воздействия транспортного потока [10, 11, 12]. Эта тенденция объясняется увеличением количества транспортных средств и ростом нагрузки на ось. Интенсивность движения по дорогам повышается с каждым годом, что заставляет работать компоненты мостов (в том числе деформационные швы) в перегруженном режиме и повышает риск преждевременного отказа конструкций вследствие достижения ими предела выносливости.

### Вывод и заключение

Анализируя рассмотренные работы, можно сделать вывод о том, что повреждения МДШ крайне разнообразны. Для надежной и безотказной работы модульных деформационных швов необходим контроль качества на всех этапах их жизненного цикла: проектирование, строительство и эксплуатация. Зачастую преждевременные отказы в работе МДШ возникают из-за допущения ошибок на этапе проектирования и монтажа. Обследование деформационных швов в период эксплуатации помогает выявить и устранить дефекты на ранних стадиях их развития, не допуская развития отказов в работе и создания аварийных ситуаций.

### Литература

1. Шестериков В. И. Деформационные швы в автодорожных мостах / В. И. Шестериков. – Москва : Транспорт, 1978. – 151 с.
2. Овчинников И. И. Анализ причин повреждения деформационных швов типа МММ Д-50 и МММ Д-100 на мостовых сооружениях автомобильной дороги М-4 «ДОН» / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев // Науковедение. – 2013. – № 5. – С. 1–13.
3. Ярошутина Д. А. Отчёт по результатам обследования моста [доступ к информации ограничен] – СПб. : ООО «ЦКМ» – Технический отчёт, 2023.
4. Dexter R. J. Fatigue Design of Modular Bridge Expansion Joints / R. J. Dexter, R. J. Connor, M. R. Kaczinski; ATLSS Engineering Research Center, Lehigh University // National Cooperative Highway Research Program. – Washington, D.C: National Academy Press, 1997. – Report 402. – 146 p. – ISSN 0077-5614.
5. Performance Testing for Modular Bridge Joint Systems / R. J. Dexter, M. J. Mutziger, C. B. Osberg; University of Minnesota // National Cooperative Highway Research Program. – Washington, D.C: National Academy Press, 2002. – Report 467.
6. Evaluation of Various Types of Bridge Deck Joints: Final Report 510 / Baker Engineering & Energy; Arizona Department of Transportation. – Phoenix, Arizona: Arizona Department of Transportation, 2006. – 111 p. – (FHWA-AZ-06-510).
7. Guo T. Investigation and control of excessive cumulative girder movements of long-span steel suspension bridges / T. Guo, J. Liu, L. Huang // Engineering Structures. – 2016. – Vol. 125. – P. 217–226.
8. Guo T. Damage Mechanism of Control Springs in Modular Expansion Joints of Long-Span Bridges / T. Guo, L. Huang, J. Liu, Y. Zou // Journal of Bridge Engineering. – 2018. – Vol. 23, № 7. – Article 04018038.
9. Purvis R. Bridge Deck Joint Performance: A Synthesis of Highway Practice / R. Purvis // NCHRP Synthesis 319. – Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2003. – 66 p.
10. Artmont F. A. A Model for Simulating Dynamic Vehicular Load on Modular Bridge Expansion Joint Systems / F. A. Artmont, S. Roy // Conference Paper. – September 2016.
11. Ancich E. Dynamic Design of Modular Bridge Expansion Joints by the Finite Element Method / E. Ancich // IABSE Symposium Report. – Weimar, Germany, 2007. – Vol. 93. – Paper A-0398.
12. Zhang L. Dynamic Response of a Vehicle-Bridge Expansion Joint Coupled System / L. Zhang, S. Wang, B. Li // Shock and Vibration. – 2022. – Vol. 2022. – Article ID 1621589. – 13 p.

## СЕКЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.055.7

Дарья Александровна Алексеева,  
студент  
Александр Алексеевич Руденко,  
д-р экон. наук, канд. техн. наук,  
профессор  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: [happytomok@yandex.ru](mailto:happytomok@yandex.ru),  
[rudenko.a@mail.ru](mailto:rudenko.a@mail.ru)

Daria Alexandrovna Alexeeva,  
student  
Alexander Alekseevich Rуденко,  
Dr. Sci. Ec., PhD in Sci. Tech.,  
Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: [happytomok@yandex.ru](mailto:happytomok@yandex.ru),  
[rudenko.a@mail.ru](mailto:rudenko.a@mail.ru)

### **МЕТОДОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**METHODOLOGY OF CONSTRUCTION PLANNING  
UNDER RESOURCE CONSTRAINTS: ANALYSIS  
AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

В статье проводится анализ современных методов планирования строительства в условиях ресурсных ограничений и их влияние на сроки и стоимость реализации проектов. Основная гипотеза исследования заключается в том, что применение адаптивных методов и цифровых технологий позволяет минимизировать риски, связанные с нехваткой ресурсов. В работе использованы сравнительный анализ детерминированных, стохастических и адаптивных методов планирования, а также оценка BIM-моделирования и систем мониторинга поставок. Результаты исследования показали, что внедрение региональных коэффициентов и многокритериальных моделей выбора поставщиков повышает точность и надежность планирования строительных проектов. Полученные данные подтверждают, что интеграция информационных технологий в процессы управления ресурсами способствует снижению логистических и организационных рисков. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что комбинирование адаптивных методов и цифровых решений является

ключевым фактором повышения эффективности планирования строительства в условиях ограниченных ресурсов.

*Ключевые слова:* планирование строительства, ресурсные ограничения, материально-техническое обеспечение, информационные технологии, много-критериальная оценка, экспериментально-статистические модели, региональные коэффициенты.

The article analyzes modern methods of construction planning under resource constraints and their impact on project timelines and costs. The main hypothesis of the study is that the application of adaptive methods and digital technologies helps minimize risks associated with resource shortages. The research employs a comparative analysis of deterministic, stochastic, and adaptive planning methods, along with an evaluation of BIM modeling and supply monitoring systems. The results demonstrate that implementing regional coefficients and multi-criteria supplier selection models improves the accuracy and reliability of construction project planning. The findings confirm that integrating information technologies into resource management processes helps reduce logistical and organizational risks. Based on the analysis, it can be concluded that combining adaptive methods with digital solutions is a key factor in enhancing the efficiency of construction planning under resource constraints.

*Keywords:* construction planning, resource constraints, material-technical support, information technologies, multi-criteria assessment, experimental-statistical models, regional coefficients.

Ресурсные ограничения занимают особое место среди проблем, с которыми сталкивается современное строительство. Нехватка материалов, их качество, сложная логистика и климатические факторы могут существенно увеличить сроки и стоимость реализации строительных проектов. В связи с этим актуальным становится вопрос совершенствования методов планирования строительства с учетом ресурсных ограничений и применения информационных технологий для минимизации рисков.

Планирование строительства в условиях ресурсных ограничений требует комплексного подхода, учитывающего временные, материальные и трудовые факторы. Эффективное ресурсораспределение является ключевым элементом календарного планирования, особенно при реализации крупных проектов [1].

Современные методы планирования строительства можно разделить на несколько групп:

1. Детерминированные методы, обеспечивающие высокую точность расчетов при стабильных условиях, но обладающие низкой применимостью при возникновении внезапных изменений.
2. Стохастические методы, учитывающие неопределенность через вероятностные подходы для моделирования различных сценариев выполнения работ.
3. Адаптивные методы, позволяющие динамически корректировать планы в зависимости от изменяющихся условий и приспособливать их к текущей ситуации.

Особое значение имеет интеграция анализа рисков в процесс планирования. Исследования Isah M. A. Kim B. S. (2021) демонстрируют, что сочетание методов анализа рисков с многокритериальным управлением ресурсами позволяет повысить надежность строительных проектов [2].

Основные проблемы, выявленные в ходе исследования, включают:

1. Нарушение графиков поставок, приводящее к срыву сроков строительства.
2. Отсутствие точности прогнозирования потребности в ресурсах, вызывающее перерасход материалов или их дефицит.
3. Слабая координация между подразделениями, отвечающими за планирование и снабжение.

Алгоритмизация процессов материально-технического обеспечения позволяет снизить влияние неопределенности и рисков на строительные проекты [3]. К внешним факторам риска относят экономическую нестабильность, к внутренним – низкую надежность поставщиков [4].

Цифровизация строительной отрасли открывает новые возможности для совершенствования планирования. Среди ключевых технологий выделяют:

1. BIM-моделирование, позволяющее интегрировать временные ресурсные параметры проекта.
2. Системы отслеживания поставок, позволяющие осуществлять оперативный контроль за движением материалов в реальном времени.

3. Методы машинного обучения, используемые для прогнозирования точной потребности в ресурсах и оптимизации логистических процессов.

Применение информационных технологий способствует повышению организационно-технологической надежности строительства [5].

На основе проведенного анализа предлагаются следующие направления для совершенствования методов планирования строительства в условиях ресурсных ограничений:

1. Разработка региональных коэффициентов, учитывающих логистические, климатические и качественные факторы.

2. Внедрение многокритериальных моделей выбора поставщиков, основанных на таких критериях, как цена, качество, надежность и расположение.

3. Создание модульных информационных систем, объединяющих планирование, управление поставщиками и мониторинг поставок.

### **Заключение**

Анализ методов планирования строительства в условиях ресурсных ограничений показал, что эффективное управление ресурсами требует комплексного подхода, сочетающего традиционные методы с современными информационными технологиями. Разработанные предложения, такие как региональные коэффициенты и многокритериальные модели, могут быть использованы для повышения точности планирования и снижения рисков. В дальнейших исследованиях целесообразно сосредоточиться на разработке гибких вычислительных моделей, способных адаптироваться к динамично изменяющимся условиям реализации строительных проектов.

### **Литература**

1. Болотин С. А. Методология оптимального ресурсораспределения в календарном планировании строительства объектов и их комплексов. – СПб., 1998.
2. Isah M. A., & Kim B.-S. (2021). Integrating Schedule Risk Analysis with Multi-Skilled Resource Scheduling to Improve Resource-Constrained Project Scheduling Problems. *Applied Sciences*, 11(2), 650. Doi:10.3390/app11020650 <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/650>.

3. Руденко А. А. Алгоритмизация процесса обеспечения строительства материальными ресурсами в условиях неопределенности и риска / А. А. Руденко, Р. В. Мотылев. – Текст : электронный // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. – С. 34–40. [Https://elibrary.ru/item.asp?id=44733554/](https://elibrary.ru/item.asp?id=44733554/)

4. Аль-Масри А. А. Р. А., Руденко А. А. Факторы риска ресурсоснабжения строительства при обеспечении его организационно-технологической надёжности / А. А. Р. А. Аль-Масри, А. А. Руденко. – Текст : электронный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. № 5(93). С. 670–682. [Https://elibrary.ru/download/elibrary\\_54797451\\_76560342.pdf/](https://elibrary.ru/download/elibrary_54797451_76560342.pdf/)

5. Руденко А. А. Обеспечение строительства ресурсами как элемент его организационно-технологической надежности / А. А. Руденко. –Текст : непосредственный // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2023. Т. 2. № 1(51). – С. 130–139. [Https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50455550/](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50455550/)

**УДК 69.05**

Анна Игоревна Белянская,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* 89215888809@bk.ru

Anna Igorevna Belyanskaya,  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* 89215888809@bk.ru

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **ANALYSIS OF MODULAR TECHNOLOGIES APPLICATION IN HOUSING CONSTRUCTION**

В статье представлен комплексный анализ применения модульных технологий в современном жилищном строительстве. Исследуются практические аспекты внедрения, эффективность использования, проблемы и перспективы развития данного направления. Особое внимание уделяется оценке результативности модульного строительства на основе анализа его ключевых преимуществ и вызовов, а также рассмотрению реальных кейсов и тенденций цифровизации. Проведенный анализ демонстрирует, что модульное строительство обладает значительным потенциалом для повышения эффективности, сокращения сроков и снижения стоимости возведения жилья, однако его широкое распространение сдерживается рядом технологических, нормативных и организационных барьеров.

*Ключевые слова:* модульное строительство, анализ применения, жилищное строительство, строительные технологии, эффективность, заводское производство, цифровизация, устойчивое развитие.

The article presents a comprehensive analysis of the application of modular technologies in modern housing construction. The practical aspects of implementation, efficiency of use, problems and development prospects of this direction are investigated. Special attention is paid to assessing the effectiveness of modular construction based on the analysis of its key advantages and challenges, as well as the consideration of real cases and digitalization trends. The analysis shows that modular construction has significant potential to improve efficiency, reduce time and cost of housing construction, but its widespread adoption is hampered by a number of technological, regulatory and organizational barriers.

*Keywords:* construction, application analysis, housing construction, construction technologies, efficiency, factory production, digitalization, sustainable development.

Современная строительная отрасль сталкивается с беспрецедентными вызовами: растущая урбанизация, обострение жилищной проблемы, необходимость повышения темпов строительства при одновременном ужесточении требований к качеству, энергоэффективности и экологической устойчивости. В этих условиях традиционные методы строительства зачастую не справляются с предъявляемыми требованиями, что стимулирует поиск и внедрение инновационных подходов. Одним из наиболее перспективных направлений является модульное строительство – технология, при которой здание собирается из готовых модулей, произведенных в заводских условиях.

Несмотря на растущий интерес к модульным технологиям, их доля в общем объеме жилищного строительства остается относительно невысокой. Это обусловлено необходимостью глубокого и комплексного анализа всех аспектов их применения: от экономической целесообразности и технологической готовности до адаптации нормативно-правовой базы и изменения сложившихся управлеченческих практик. Данная статья стремится провести анализ, систематизировать преимущества и недостатки модульного подхода, выявить ключевые проблемы и обозначить векторы его дальнейшего развития.

### **1. Сущность и принципы модульного строительства.**

Модульное строительство представляет собой метод возведения зданий, основанный на использовании объемных модулей полной заводской готовности. Эти модули изготавливаются на специализированном производственном предприятии, транспортируются на строительную площадку и монтируются на заранее подготовленный фундамент. Каждый модуль представляет собой законченный элемент будущего здания (часть комнаты, комнату целиком или даже квартиру) с выполненной внутренней и внешней отделкой, установленными инженерными системами, окнами и дверями.

Ключевыми принципами, отличающими модульное строительство от традиционного, являются:

#### **1.1. Перенос основных процессов на завод.**

До 80 % всех работ выполняется в условиях цеха, что обеспечивает высокий контроль качества, независимость от погодных условий и параллельное ведение работ на площадке и на производстве.

### **1.2. Высокая степень стандартизации и унификации.**

Проектирование ведется с применением модульной сетки и типовых решений, что позволяет оптимизировать производственные процессы и снизить стоимость.

### **1.3. Сокращение сроков строительства.**

Монтаж здания из готовых модулей на объекте занимает в несколько раз меньше времени по сравнению с классическими технологиями.

### **1.4. Технологичность и точность.**

Минимизация участия человека в процессе. Максимальная автоматизация процессов, с применением аддитивных технологий, роботизированных линий и т. д.

## **2. Анализ преимуществ модульных технологий.**

Анализ практики применения модульного строительства позволяет выделить ряд неоспоримых преимуществ, которые делают его конкурентоспособным на рынке жилья.

### **2.1. Экономическая эффективность и сокращение сроков.**

Сокращение сроков строительства является одним из самых значимых преимуществ. По данным различных исследований, применение модульных технологий позволяет сократить общее время проекта на 30–50 % [1–6]. Это достигается за счет параллельного выполнения работ: пока на заводе изготавливаются модули, на строительной площадке ведутся земляные работы и устраивается фундамент. Сокращение сроков напрямую ведет к снижению накладных расходов, затрат на оплату труда на объекте и более быстрой окупаемости проекта.

### **2.2. Повышение качества и контроль.**

Производство в контролируемых заводских условиях позволяет добиться стабильно высокого качества. Исключается влияние таких негативных факторов, как влажность, перепады температур, осадки, которые часто приводят к дефектам при традиционном строительстве. Каждый этап производства подвергается строгому входному и выходному контролю, что минимизирует риск брака. Стандартизация процессов обеспечивает повторяемость и предсказуемость результата.

### **2.3. Экологическая устойчивость.**

Модульное строительство является более экологичным по сравнению с традиционным. Это проявляется в следующем:

- **Сокращение отходов.** За счет точного раскroя материалов на заводе количество отходов сокращается на 70–90 % [7, 8].

- **Энергоэффективность.** Высокая точность изготовления обеспечивает плотное прилегание элементов, что сводит к минимуму теплопотери и позволяет создавать здания с высоким классом энергоэффективности.

- **Снижение воздействия на площадке.** Сокращается срок работ на объекте, уменьшаются шум, пыль, нагрузка на локальную инфраструктуру и объем строительного мусора.

### **2.4. Повышение безопасности труда.**

Работа в цехе является более безопасной, чем на открытой строительной площадке. Стационарные рабочие места, отлаженные процессы, наличие ограждений и систем безопасности снижают риск травматизма. На самой строительной площадке монтажные работы ведутся быстрее и с привлечением меньшего количества персонала, что также снижает общие риски.

## **3. Проблемы и ограничения внедрения технологии.**

Модульные технологии обладают преимуществами, но сталкиваются с существенными ограничениями.

### **3.1. Нормативно-правовые ограничения.**

Действующие в РФ строительные нормы и правила (СНиПы, СП) в основном ориентированы на традиционные технологии. Сертификация модулей, их соответствие требованиям пожарной безопасности, сейсмостойкости и энергоэффективности требует получения дополнительных заключений и согласований, что удлиняет и удорожает процесс. Отсутствие четких регламентов для оценки и приемки модульных зданий создает правовую неопределенность для застройщиков и инвесторов.

### **3.2. Высокие первоначальные инвестиции.**

Организация высокотехнологичного заводского производства модулей требует значительных капиталовложений в оборудование, инфраструктуру и логистику. Для многих компаний, особенно

но средних и малых, это является непреодолимым препятствием. Экономическая эффективность модульного подхода становится очевидной только при серийном, массовом производстве, что требует наличия портфеля заказов и отлаженных цепочек поставок.

### **3.3. Логистические.**

Транспортировка крупногабаритных модулей с завода на строительную площадку сопряжена с трудностями. Необходимо тщательно планировать маршруты, учитывать габаритные ограничения, состояние дорог и мостов. Это может ограничивать радиус экономически целесообразной доставки и делает технологию менее применимой в удаленных или труднодоступных регионах.

### **3.4. Стереотипы и консерватизм рынка.**

На рынке недвижимости и среди конечных потребителей сохраняется определенный скептицизм в отношении качества и долговечности «сборных» домов. Стереотипы, связанные с негативным опытом панельного домостроения советского периода, часто переносятся на современные модульные технологии, которые кардинально отличаются по качеству и возможностям. Преодоление этого восприятия требует активной информационной работы и демонстрации успешных кейсов.

## **4. Перспективы развития: интеграция с цифровыми технологиями.**

Будущее модульного строительства неразрывно связано с цифровизацией. Технологии информационного моделирования (BIM), интернета вещей (IoT) и цифровых двойников являются катализаторами его развития.

- **BIM-технологии:** позволяют создать точную цифровую модель здания на этапе проектирования, которая затем напрямую используется для управления производственными процессами на заводе (BIM-to-Fabrication). Это исключает ошибки, обеспечивает бесшовный обмен данными между проектировщиками, производителями и строителями и позволяет оптимизировать все этапы жизненного цикла объекта [2, 5].

- **Интернет вещей (IoT):** Датчики, устанавливаемые в модули на этапе производства, могут отслеживать условия транспортировки,

параметры монтажа, а в дальнейшем – обеспечивать мониторинг состояния конструкций и инженерных систем здания в режиме реального времени.

• **Цифровая логистика:** Использование платформ для управления цепями поставок позволяет оптимизировать маршруты транспортировки, отслеживать местоположение модулей в реальном времени и синхронизировать графики производства, доставки и монтажа [2, 4].

### **Заключение**

Проведенный анализ применения модульных технологий в жилищном строительстве позволяет сделать вывод об их высокой эффективности и значительном потенциале. Ключевые преимущества – радикальное сокращение сроков возведения, повышение качества, снижение затрат и экологической нагрузки – делают этот подход крайне актуальным для решения задач по обеспечению доступным и комфортным жильем.

Однако реализация этого потенциала требует комплексных усилий. Необходима разработка и адаптация нормативно-технической базы, стимулирование инвестиций в создание производственных мощностей, развитие логистической инфраструктуры и активное внедрение цифровых технологий на всех этапах – от проектирования до эксплуатации.

Устранение существующих барьеров и последовательная интеграция модульного подхода в национальную стратегию развития строительной отрасли позволят не только повысить ее эффективность, но и вывести на новый уровень технологического развития, отвечающего вызовам XXI века.

### **Литература**

1. Бовтеев С. В. Методы и формы организации строительного производства : учебное пособие / С. В. Бовтеев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 221 с.
2. О принципах и подходах цифровой логистики в сфере транспортных услуг государств – членов Евразийского экономического союза // ЕЭК : сайт / ЕЭК – URL: ([дата обращения: 31.10.2024](#)).

3. Обеспечение ресурсами территориально удаленных объектов организаций // СПбГУ : сайт / СПбГУ – URL: (дата обращения: 31.10.2024).
4. Цифровизация логистики: планы и перспективы // клерк : сайт / клерк – URL: (дата обращения: 31.10.2024).
5. Цифровизация логистических процессов российских предприятий на основе внедрения технологии RFID // economy.spbstu : сайт / economy.spbstu – URL: (дата обращения: 31.10.2024).
6. Попова О. А. Анализ методов контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости на основе современных цифровых технологий / О. А. Попова // Сборник статей магистрантов и аспирантов строительного факультета : в 2 т. Т. 2 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – С. 64.
7. Руденко А. А. Алгоритмизация процесса обеспечения строительства материальными ресурсами в условиях неопределенности и риска / А. А. Руденко, Р. В. Мотылев. – Текст : электронный // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. – С. 34–40.
8. Болотин С. А. Прогнозирование окончания строительства на основе моделирования нелинейной зависимости от задержек отдельных работ / С. А. Болотин, М. А. Аль-Жанаби, Х. А. Бохан // Вестник гражданских инженеров. 2022 № 2(91), С. 83–90.

**УДК 624.05**

Георгий Андреевич Бурунов,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* burunovg@gmail.com

Georgy Andreevich Burunov,  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* burunovg@gmail.com

## **АНАЛИЗ ИНТЕГРАЦИИ ДРОНОВ И ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **ANALYSIS OF THE INTEGRATION OF DRONES AND LASER SCANNING IN CONSTRUCTION**

Современные технологии, такие как дроны и лазерное сканирование, активно внедряются в строительную отрасль, значительно повышая её эффективность. В статье рассматриваются преимущества использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга строительных площадок и лазерного сканирования для создания точных 3D-моделей объектов. Проанализированы их экономические и временные выгоды. Особое внимание уделено снижению рисков для работников и повышению точности проектирования.

*Ключевые слова:* дрон, сканирование, лазер, оптимизация, лазерное сканирование, строительные процессы.

Modern technologies, such as drones and laser scanning, are actively being integrated into the construction industry, significantly improving its efficiency. The article discusses the advantages of using unmanned aerial vehicles for construction site monitoring and laser scanning for creating accurate 3D models of objects. Analysis of their economic and time-saving benefits. Special attention is paid to reducing risks for workers and improving design accuracy.

*Keywords:* drone, scanning, laser, optimization, laser scanning, construction processes.

Строительная отрасль постоянно развивается, внедряя новые технологии для повышения эффективности и безопасности. Одними из наиболее перспективных инструментов являются дроны и лазерное сканирование [1]. Эти технологии позволяют сократить сроки выполнения работ, минимизировать ошибки и снизить затраты.

В данной статье рассматриваются их возможности и практическое применение в строительстве.

Проведение данного исследования потребовало комплексного подхода, сочетающего теоретический анализ и сравнительную оценку различных технологических решений. В качестве теоретической основы были тщательно изучены современные научные публикации, что позволило выявить ключевые тенденции в развитии технологий дистанционного мониторинга в строительстве. Особое внимание уделялось анализу технических характеристик оборудования от ведущих мировых производителей, а также изучению стандартов, таких как ГОСТ Р 71886–2024 по применению дронов для геодезических работ и ГОСТ Р 57258–2016 «Системы беспилотные авиационные» термины и определения, регламентирующие методы лазерного сканирования.

Методика сравнительного анализа включала пять ключевых параметров оценки: точность измерений, временные затраты на выполнение работ, экономическую эффективность, уровень безопасности для персонала и степень интеграции с системами информационного моделирования зданий (BIM). Для каждого параметра были разработаны критерии оценки, позволяющие объективно сравнивать традиционные методы обмеров с инновационными технологическими решениями [2]. Особое внимание уделялось не только техническим характеристикам оборудования, но и человеческому фактору – удобству работы операторов, требованиям к их квалификации и времени, необходимому для освоения новых технологий.

Проведенные исследования продемонстрировали значительное превосходство комбинированных технологий воздушного и наземного сканирования по сравнению с традиционными методами. Технология воздушного лазерного сканирования с использованием БПЛА показала впечатляющие результаты – за один полет продолжительностью около 30 минут можно получить данные с площадки размером до 5 квадратных километров с плотностью точек до 240 на квадратный метр. При этом оборудование демонстрирует стабильную работу даже при неблагоприятных погодных условиях, включая ветер скоростью до 12 метров в секунду, при использовании

промышленных дронов, что особенно важно для северных регионов с суровым климатом.

Наземные сканеры демонстрируют беспрецедентную скорость, сканирование может достигать 2 миллионов точек в секунду, что позволяет в сжатые сроки создавать детализированные цифровые копии объектов. При сравнении с традиционными методами измерений, комбинированная технология показывает сокращение времени обследования объектов на 70–80 %, при этом точность измерений повышается практически в 20 раз. Особенно впечатляющими становятся результаты по снижению трудозатрат – вместо бригады из 3–5 специалистов, работающих несколько дней, достаточно одного оператора с оборудованием, способного выполнить весь комплекс измерений за 1–2 дня.

При реконструкции исторического здания использование лазерного сканирования позволяет выявить скрытые дефекты конструкции, которые могут быть не обнаружены при визуальном осмотре. Сроки обмерных работ сокращаются с двух недель до трех дней, а общая экономия бюджета может доходить до 12 %. Еще более впечатляющие результаты могут быть достигнуты на строительстве мостов, где автоматизированный контроль геометрических параметров охватывает до 98 % всех конструктивных элементов. Это позволяет снизить количество переделок до 40 % и оптимизировать расход строительных материалов до 15 %.

Развитие технологий дистанционного сканирования открывает новые горизонты для цифровизации строительной отрасли. Одним из наиболее перспективных направлений является глубокая интеграция с системами информационного моделирования зданий (BIM). В рамках исследования была изучена методика автоматического преобразования облаков точек в BIM-модели, которая демонстрирует точность преобразования на уровне 99,7 % [3]. Это позволяет существенно сократить время создания цифровых двойников объектов и минимизировать человеческий фактор на этапе переноса данных.

Применение искусственного интеллекта открывает новые возможности для анализа данных сканирования. Нейронные сети уже сегодня способны автоматически распознавать различные типы де-

фектов строительных конструкций с точностью до 92 % [1], прогнозировать развитие деформационных процессов и даже предлагать оптимальные варианты их устранения. В перспективе 3–5 лет ожидается появление комплексных систем, способных на основе данных сканирования не только выявлять проблемы, но и прогнозировать сроки строительства с учетом множества факторов, а также оптимизировать логистику строительных материалов и техники.

Нормативное регулирование пока отстает от темпов технологического развития [4]. Проведенный анализ выявил острую необходимость разработки единых стандартов точности для различных типов сканирующего оборудования, создания системы сертификации операторов и разработки четких регламентов обработки и хранения данных. Особого внимания требуют вопросы защиты информации, так как детализированные цифровые модели объектов могут представлять интерес для злоумышленников. В ближайшие годы ожидается активная работа международных и национальных организаций по стандартизации в этой области, что создаст правовую основу для массового внедрения технологий.

Дальнейшее развитие аппаратной части предполагает миниатюризацию оборудования, увеличение скорости сканирования и расширение функциональных возможностей. Уже сейчас появляются гибридные системы, сочетающие преимущества лидарных и фотограмметрических технологий, а также решения, позволяющие выполнять сканирование в сложных условиях – при недостаточном освещении, в дождь или снег. Особый интерес представляют разработки в области автономных сканирующих систем, способных без участия оператора выполнять регулярный мониторинг строительных объектов и выявлять отклонения от проектных параметров на ранних стадиях [5].

### **Заключение**

Дроны и лазерное сканирование открывают новые возможности для оптимизации строительных процессов. Их применение способствует повышению точности, безопасности и экономической эффективности. Дальнейшее развитие этих технологий, включая

интеграцию с искусственным интеллектом, позволит ещё больше автоматизировать строительную отрасль.

### **Литература**

1. Заброва О. С., Гура Д. А., Дражецкий Д. А., Панченко Е. А. Использование технологии лазерного сканирования в области градостроительства // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 86–90.
2. Бушнева И. А., Безверхова Ю. А., Шевченко Г. Г., Гура Д. А. Об использовании наземного лазерного сканирования для получения фасадных чертежей исследуемых зданий и строений // Электронный сетевой политехнический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 11. – С. 89–97.
3. Турк Г. Г. Общие принципы и математические основы процесса измерений лазерными сканерами // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: Материалы Юбилейной научно-практической конференции. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2022. – С. 292–294.
4. Баутин Е. А. Анализ определения сроков проектирования жилых домов / Е. А. Баутин, И. М. Чахкиев // Управление проектами : материалы Всероссийской молодёжной конференции [19 апреля 2018 г.] / под общ. ред. Е. Б. Смирнова. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2018. – С. 7–12.
5. Бовтсеев С. В. Управление сроками строительного проекта / С. В. Бовтсеев, Е. В. Терентьева // Управление проектами и программами. – 2014. – № 2(38). – С. 158–173.

**УДК 69.004.9**

Анна Сергеевна Воронова,

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: annushka.voronova13@gmail.com*

Anna Sergeevna Voronova,

student

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: annushka.voronova13@gmail.com*

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### DIGITALIZATION OF CONSTRUCTION PRODUCTION

В статье подчеркнута важность «сymbioза» интеграции технологий информационного моделирования (BIM) и цифровизации строительной стандартизации, что является необходимым инструментом повышения эффективности управления строительными проектами.

*Ключевые слова:* BIM-технологии, цифровизация строительной стандартизации.

The article highlights the importance of the symbiosis of the implementation of information modeling technologies (BIM) and the digitalization of construction standardization as a tool for improving the efficiency of construction project management.

*Keywords:* BIM technologies, digitalization of construction standardization.

Цифровая трансформация строительной отрасли является одной из целей национального развития Российской Федерации, что закреплено Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». В рамках данной цели поставлена задача обеспечить достижение «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики, одной из которых является строительная отрасль. В настоящее время цифровая трансформация строительной отрасли только начинает набирать интенсивные обороты развития. От того, насколько успешно строительные компании внедрят цифровые технологии в процессы проектирования и возведения объектов, напрямую будет зависеть их конкурентоспособность.

Так, информационное моделирование (BIM или ТИМ) заслуженно считается одним из ведущих цифровых инструментов для управления строительными процессами. Тем не менее зачастую применение BIM/TIM сводится лишь к созданию трехмерных моделей объектов. Однако здесь важно понимать, что указанный уровень освоения технологий информационного моделирования не достаточен для обеспечения качества управления строительными проектами.

Для полноценного использования BIM-потенциала необходимо выделить основные компоненты, обеспечивающие эффективность функционирования.

Современное строительство масштабных и технологически развитых объектов практически невозможно без использования 4D-моделирования. Отсутствие конкретных нормативных требований к 4D-моделированию является существенной проблемой в системе строительной стандартизации. Единственное упоминание этого инструмента содержится в приложении Ж СП 333.13258000.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Это понятие обозначено как «визуализация процесса строительства» и подразумевает использование специализированного программного обеспечения для информационного моделирования, которое позволяет интегрировать данные информационной модели с календарно-сетевым графиком строительства [1–3].

В результате устранения существующих препятствий применение 4D-моделирования способно обеспечить оптимизацию логистических и строительных процессов, а именно: создать цифровой двойник строительной площадки и произвести моделирование этапов строительства. Именно это, в свою очередь, позволит заранее планировать поставки и эффективно управлять ресурсами. Говоря об управлении ресурсами, важно подчеркнуть возможность интеграции с *ERP*-системами, что позволит рассчитать объем необходимых материалов и минимизировать потери.

При эффективном применении BIM-технологий необходимо одновременное внедрение инструментов для анализа больших данных, применяемых в процессе моделирования [4]. Безусловно, реа-

лизация поставленной задачи является возможной, при условии достаточного уровня применяемых информационных систем.

Одним из важных аспектов «BIM-пространства» является верификация цифровой информационной модели (ЦИМ) на соответствие требованиям проектной документации. ЦИМ – это комплексное представление объекта, которое содержит 3D-геометрию, информацию об используемых материалах, инженерных системах, экономических и временных затрат, а также эксплуатационных свойствах. Также, международный опыт показывает, что для успешной реализации указанных решений, необходима система нормативной документации нового поколения, к которой относят умные (*SMART*) стандарты.

Становится очевидно, что при переходе на инновационный формат документооборота необходимо интегрировать комплексное решение, формируемое в едином информационном пространстве. Подобное решение должно включать не только современную систему поиска, но и целый ряд задач по оптимизации процессов, применения отечественного программного, а также использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) для выявления оптимальных способов достижения обозначенных целей.

Одной из ведущих компаний в сфере создания и внедрения *SMART*-стандартов в настоящее время является компания «Нанософт Разработка», которая запустила специализированное направление *NSR Specification*. Указанное направление занимается развитием использования автоматизации выделения требования для формирования стандартов в машиночитаемый формат.

И здесь важно понимать, что для осуществления данной концепции, в первую очередь, необходимо создать технологию машинного обучения. В основе машинного обучения должна находиться система понятий. При этом структурой цифрового стандарта является формат *XML*. Итак, *XML* (*eXtensible Markup Language*) – это универсальный текстовый формат, который предназначен для хранения и обмена данными. Основная задача «универсального формата» заключается в обеспечении доступности и формализации данных, которые могли быть однозначно интерпретированы как человеком,

так и автоматизированной системой. Данный формат используется в веб-сервисах, конфигурационных файлах и иных системах, где основным требованием является – структурирование обмена данными [5].

Для формирования автоматических проверок ЦИМ, важно достичь «машинопонимаемого формата» стандарта. Другими словами, чтобы автоматизированная система или так называемая «машина» могла провести анализ фрагмента требования нормативного документа, но для этого она должна понимать его смысл. Реализация подобной концепции достигается посредством семантического анализа требования.

Семантический анализ требований является комплексным подходом, который включает однозначную интерпретацию значений и учитывает контекст нормативных требований. Иными словами, указанный подход позволяет «понять машине», что именно содержит нормативное требование, а также «увидеть» связь с другими частями системы. Особенно важным это является в контексте разработки ПО.

Поэтому необходимо выделить следующие составляющие семантического анализа нормативных требований [6, 7]:

- Интерпретация значений. Формализованный разбор и понимание терминов, используемых в требовании. Может включать определение особых терминов, аббревиатур и других элементов, которые могут быть неоднозначными или требовать уточняющего комментария.

- Определение зависимостей. Распознание зависимостей между различными фразами и их взаимосвязей. Это способствует повышению уровня понимания того, как изменение одного фрагмента текста может повлиять на другие.

- Идентификация неоднозначностей. Данный этап содержит обнаружение и устранение любых неясностей или двусмыслистостей в формулировке требований, которые, как известно, могут привести к различным интерпретациям. Иными словами, также важно отметить, что представленный этап занимает ключевую роль в достижении однозначности разъяснений.

С помощью искусственного интеллекта эксперты проводят семантический анализ нормативных документов, извлекая из них

ключевые элементы: объекты, субъекты, действия, условия и сами требования. Эта структурированная информация делает документ понятным для «машин» и позволяет автоматизировать проверку ЦИМ.

Становится очевидно, что цифровая трансформация строительной отрасли – это стратегическая задача национального уровня, направленная на повышение эффективности и конкурентоспособности. Внедрение BIM-технологий открывает новые возможности для управления строительными процессами. Таким образом, успех цифровой трансформации будет зависеть от комплексного подхода, включающего различные решения, способствующие устойчивому развитию строительной отрасли.

### **Литература**

1. Бовтев С. В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства / С. В. Бовтев // Вестник гражданских инженеров. Технология и организация строительства / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. № 2(97) С. 65–74.
2. Бовтев С. В. Методика формирования моделей визуализации строительных процессов / С. В. Бовтев, Е. С. Евстифеева // Системные технологии / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. № 2(47) С. 66–73.
3. Бовтев С. В. Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов / С. В. Бовтев // Системные технологии / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. № 4(49) С. 61–69.
4. Долганова О. И., Деева Е. А. Готовность компаний к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 59–72.
5. Зайченко И. М., Горшечникова П. Д., Лёвина А. И., Дубгорн А. С. Цифровая трансформация бизнеса: подходы и определение // Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 2.
6. Полянская В. А. Особенности разработки SMART-стандартов в области строительства. Часть 1 // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции «Методы и модели пространственного анализа» / Славянский форум № 1(47), 2025. С. 320–325.
7. Полянская В. А. Особенности разработки SMART-стандартов в области строительства. Часть 2 // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции «Методы и модели пространственного анализа» / Славянский форум № 1(47), 2025. С. 326–329.

**УДК 658**

Артур Камоевич Гаспарян,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: artur\_gasparyan@inbox.ru*

*Artur Kamoevich Gasparian,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: artur\_gasparyan@inbox.ru*

## **КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ПРОЕКТНО- ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

### **CALENDAR SCHEDULE OF DESIGN AND SURVEY WORK DURING THE RECONSTRUCTION OF LINEAR FACILITIES IN ST. PETERSBURG**

Календарный график проектно-изыскательских работ – ключевой инструмент управления проектом, позволяющий оптимизировать сроки, минимизировать риски и обеспечить согласованность всех этапов работ. Основной задачей руководителя проекта (главного инженера проекта) является составление детального календарного графика выполнения проектно-изыскательских работ.

*Ключевые слова:* календарный график, проектные работы, изыскания, продолжительность проектирования.

The schedule of design and survey work is a key project management tool that optimizes deadlines, minimizes risks, and ensures consistency of all work stages. The main task of the project manager (chief engineer of the project) is to draw up a detailed calendar schedule for the execution of design and survey work.

*Keywords:* calendar schedule, design work, surveys, duration of design.

Реконструкция линейных объектов (дорог, мостов, инженерных коммуникаций) в Санкт-Петербурге требует тщательного планирования с учетом климатических, нормативных и инфраструктурных особенностей города.

Календарный график проектно-изыскательских работ (далее – ПИР) – ключевой инструмент управления проектом, позволяющий оптимизировать сроки, минимизировать риски и обеспечить согласованность всех этапов работ. В статье рассмотрим структуру гра-

фика, сезонные ограничения, этапы согласований и современные методы планирования.

«Детальное планирование проекта заключается в разработке детальных планов и графиков в целях непосредственного управления ходом работ по строительному проекту на уровне ответственных исполнителей». [1]

Методы контроля сроков ПИР аналогичны методам контроля сроков строительства и описаны у многих авторов. В статье [2] дан обзор существующих методов контроля сроков строительства.

Возможные методы управления при проектировании описаны в статье [3] и выбор конкретного метода зависит от конкретного объекта проектирования, а «качество реализации всего процесса строительства или возведения инженерного объекта находится в последовательной зависимости от качества исполнения» [4] ПИР.

Документ, на основе которого составляется детальный календарный график ПИР – календарный план работ, что чаще всего является приложением к контракту (договору) на выполнение ПИР. Пример такого плана представлен в таблице. Основной задачей руководителя проекта (главного инженера проекта) после заключения контракта на выполнение ПИР является составление детального календарного графика выполнения ПИР с учетом всех особенностей объекта.

Выполнение ПИР при реконструкции линейных объектов в Санкт-Петербурге имеет ряд особенностей и учет таковых при составлении календарного графика позволит достичь положительного результата. Календарный график ПИР необходимо составить с учетом особенностей представленный в [5] с поправкой на линейные объекты.

Более подробно остановимся на составлении календарного графика ПИР (далее – график) при подготовке Проектной документации.

**Пример календарного плана  
проектно-изыскательских работ**

№ этапа (под-этапа) работ	Наименование этапа работ	Сроки выполнения работ
1	Разработка разделов Проектной документации в соответствии с Заданием на проектирование (Приложение № 1 к Договору), в том числе:	Х месяцев с даты начала работ
1.1.	Сбор исходных данных. Выполнение изысканий	Х месяцев с даты начала работ
1.2.	Разработка планировочного решения улицы М1:500	Х месяцев с даты начала работ
	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» Часть 1 «Дорожные работы. Благоустройство и озеленение»	Х месяцев после согласования планировочных решений
1.3.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» Часть 2 «Технические средства организации дорожного движения по окончании строительства. Знаки и разметка»	Х месяцев после согласования планировочных решений
1.4.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» Часть 3 «Наружное электроосвещение. Электроснабжение наружного освещения»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.5.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» Часть 4 «Наружные сети дождевой канализации»	Х месяцев после получения необходимых ТУ

*Продолжение табл. 1*

№ этапа (подэтапа) работ	Наименование этапа работ	Сроки выполнения работ
1.6.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». Часть 5 «Технические средства организации дорожного движения по окончании строительства. Светофорный объект»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.7.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». Часть 6 «Переустройство инженерных коммуникаций. Наружные сети напорной канализации»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.8.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения» Часть 7 «Переустройство инженерных коммуникаций. Наружные сети водоснабжения»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.9.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». Часть 8 «Переустройство инженерных коммуникаций. Кабельные линии»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.10.	Разработка раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». Часть 9 «Переустройство инженерных коммуникаций. Сети связи»	Х месяцев после получения необходимых ТУ
1.11.	Разработка разделов: Раздел 5 «Проект организации строительства»; Раздел 10 «Иная документация в случаях, предусмотренных законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации». Часть 1 «Технические средства организации дорожного движения на период производства работ»	Х месяцев после выполнения работ по подэтапам 1.1–1.10

*Окончание таблицы*

№ этапа (подэтапа) работ	Наименование этапа работ	Сроки выполнения работ
1.12.	Разработка разделов: Раздел 1 «Пояснительная записка»; Раздел 2 «Проект полосы отвода»; Раздел 6 «Мероприятия по охране окружающей среды»; Раздел 7 «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности»; Раздел 8 «Требования к обеспечению безопасной эксплуатации линейного объекта»; Раздел 9 «Смета на строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, снос объекта капитального строительства»	X месяцев после выполнения работ по подэтапам 1.1–1.11
1.13.	Материалы в форме информационной модели	X месяцев после выполнения работ по подэтапам 1.2–1.10
2	Согласование проектной документации с заинтересованными организациями; Сопровождение прохождения экспертизы проектной документации	Согласно срокам согласующих и экспертной организаций после выполнения работ по этапу 1

В вышеприведенной таблице «X» – количество месяцев для конкретной задачи.

Структура календарного графика состоит из пяти основных этапов – задач верхнего уровня:

1. Сбор исходных данных
2. Изыскания

### 3. Проектирование

### 4. Согласования

### 5. Экспертизы

Следующим этапом при составлении графика является разбивка основных этапов работ на подзадачи от выполнения которых зависят те или иные последующие задачи – структурная декомпозиция работ.

В зависимости от типа и протяженности линейного объекта и его местоположения количество подзадач варьируется от 150 до 250, а в некоторых случаях и более.

Продолжительность проектирования автомобильной дороги зависит от множества факторов и определяется исходя из сложности объекта и возможностей проектной организации.

Основные факторы, влияющие на сроки проектирования:

**Категория дороги** (скоростная, магистральная, местная и т. д.) – чем сложнее дорога, тем дольше проектирование.

**Протяженность трассы** – длинные участки требуют больше времени на изыскания и проектирование.

**Сложность рельефа и геологии** – горная местность, болота, сейсмичность также увеличивают сроки.

**Наличие искусственных сооружений** (мосты, тоннели, путепроводы) – их проектирование требует дополнительного времени.

Наличие инженерных сетей – кроме инженерных сетей для функционирования дороги (освещение, дождевая канализация) зачастую требуется переустройство существующих транзитных сетей (водопровод, газопровод, тепловые сети и т. д.).

**Необходимость согласований** (экспертиза, экологические требования, землеотвод).

### Объем проектной документации (стадии П, Р и др.).

Статья 47 [6] посвящена изыскательским работам, а требования главы III [7] регламентируют состав и содержание разделов Проектной документации. Безусловно изыскания и подготовка проектной документации – основные процессы ПИР, однако сбор исходных данных и согласования являются самими сложными и трудоёмкими.

Сбор исходных данных является одной из важнейших задач верхнего уровня и начинается с первых дней начала проектирования и зачастую длится вплоть до сдачи проекта в экспертизу. Несмотря на само название данной задачи «исходные данные» – это не означает, что без полного сбора исходных данных невозможно начать проектирование. Большинство исходных данных возможно получить только после начала процесса проектирования. Таким образом процесс сбора исходных данных тесно взаимосвязан с проектированием и выполняется параллельно с ним.

Еще одним важным и самым времяемким разделом в календарном графике является раздел «Согласования». Трудность данного раздела графика состоит в том, что полный перечень согласований достаточно сложно определить на начальном этапе составления графика. Тем не менее существует определенный алгоритм действий и перечень согласований, без которых невозможно успешно завершить проектирование.

После разработки первичного планировочного решения Объекта необходимо ее согласовать с рядом государственных учреждений и Комитетами, так как изменение планировочного решения улицы на более поздних этапах проектирования приведет к корректировкам практических всех разделов проектной документации и как следствие к увеличению общего срока ПИР.

Завершающим этапом проектно-изыскательских работ является экспертиза.

В настоящее время в большинстве случаев при проектировании линейных объектов необходимо проведение двух экспертиз:

1. Историко-культурная – проводится после выполнения археологических изысканий или после разработки мероприятий по обеспечению сохранности объектов культурного наследия.

2. Государственная экспертиза результатов инженерных изысканий и проектной документации проводится в порядке установленной Постановлением Правительства Российской Федерации от 05 марта 2007 года № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» [8].

## **Заключение**

Для успешного составления календарного графика необходимо:

1. Незамедлительно разделить все задачи верхнего уровня на подзадачи.
2. Правильно определить последовательность выполнения задач.
3. В программном обеспечении по календарному планированию назначить для всех задач последователей и предшественников.
4. Вести еженедельный, а в отдельных случаях ежедневный контроль сроков.
5. Оперативно вносить изменения в календарный график при получении новых исходных данных, влияющих на порядок и виды работ.

## **Литература**

1. Бовтев С. В. Методы и формы организации строительного производства: учеб. пособие / С. В. Бовтев. – СПб. : СПбГАСУ, 2022. – 221 С.
2. Бовтев С. В., Попова О. А. Оценка методов контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости на основе календарного планирования // Инновации и инвестиции. № 11. 2024. – С. 582–587.
3. Джавед С., Руденко А. А. Применение моделей принятия решений для выбора методов управления при проектировании и строительстве объектов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. № 3(96). С. 105–115.
4. Курникова М. И., Егоров Д. С. Особенности проектно-изыскательской деятельности как объекта управления // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2023. № 1–2. С. 176–180.
5. РМД 11-22-2013. Руководство по проектной подготовке капитального строительства в Санкт-Петербурге.
6. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (с Изменениями на 24.06.2025). [Https://docs.cntd.ru/document/901919338/](https://docs.cntd.ru/document/901919338/)
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с Изменениями на 28.12.2024). [Https://docs.cntd.ru/document/902087949/](https://docs.cntd.ru/document/902087949/)
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» (с Изменениями на 28.12.2024). [Https://docs.cntd.ru/document/902030917/](https://docs.cntd.ru/document/902030917/)

**УДК 69.05**

Мария Алексеевна Гейвандова,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* maria.geivandova@yandex.ru

Maria Alekseevna Geivandova,  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* maria.geivandova@yandex.ru

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА АНТЕННО-МАЧТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ, БАШЕН СОТОВОЙ СВЯЗИ**

### **ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF CONSTRUCTION OF ANTENNA-MAST STRUCTURES, CELLULAR TOWERS**

В статье представлен анализ методов строительства (возведения) антенно-мачтовых сооружений (AMC), применяемых для башен, мачт сотовой связи. Проанализированы классические и современные технологии монтажа, включая секционные мачты, свободностоящие и оттяжные конструкции, а также методы минимизации затрат и повышения надежности. Проведен сравнительный анализ эффективности различных методов с учетом требований операторов связи. Результаты исследования способствуют выбору оптимальных технологий с целью улучшения эксплуатационных характеристик объектов связи.

*Ключевые слова:* антенно-мачтовые сооружения, башни сотовой связи, методы строительства, секционные мачты, монтаж.

The article presents an analysis of the methods of construction (erection) of antenna-mast structures (AMS) used for towers, cellular communication masts. Classical and modern mounting technologies, including sectional masts, free-standing and drawback structures, as well as methods for minimizing costs and increasing reliability, are analyzed. A comparative analysis of the effectiveness of various methods has been carried out, taking into account the requirements of telecom operators. The results of the study contribute to the selection of optimal technologies in order to improve the operational characteristics of communication facilities.

*Keywords:* antenna-mast structures, cellular towers, construction methods, sectional masts, installation.

## **Введение**

Антенно-мачтовые сооружения (АМС) представляют собой важнейшие элементы инфраструктуры сотовых сетей, обеспечивающие установку телекоммуникационного оборудования на необходимой высоте для функционирования сетей сотовой связи, передачи данных и других систем связи. К таким сооружениям относятся башни, мачты, столбы и опоры двойного назначения (ОДН). В связи с постоянным развитием стандартов связи и увеличением (расширением) зоны покрытия возникает необходимость улучшения конструктивных решений и технологий монтажа мачт, башен, и иных опор. В данной работе проведён анализ современных методов возведения АМС, выявлены их достоинства, недостатки и перспективы совершенствования [1–7].

## **Классификация антенно-мачтовых сооружений и их конструктивные особенности**

Башни – свободностоящие металлические конструкции высотой от 30 метров и выше, трех-четырехгранные, обладающие высокой устойчивостью и несущей способностью, не требуют дополнительных опорных элементов. Башни могут быть сварными или болтовыми, ферменными или трубчатыми по конструкции. Фундамент башен имеет анкерную группу. Технические характеристики позволяют размещать большое количество оборудования сотовой связи (см. рисунок).

Мачты – вертикальная секционная опора с центральной стойкой, устойчивая за счет оттяжек – стальных тросов, закрепленных на опорах или фундаментах. Как правило, высота мачт от 10 до 100 метров, нагрузка и масса меньше, чем у башен. Размещение мачты требует дополнительные опорные элементы, наличие свободного пространства для якорных оттяжек. Монтаж мачт выполняется быстрее по сравнению с башнями.

Столбы, опоры двойного назначения и стойки могут быть металлическими или железобетонными, чаще всего высотой до 40 метров. Часто монтируются в городской черте, основание занимает не более участка площадью  $25\text{ m}^2$ , подходит для размещения небольшого

количества оборудования. Быстро устанавливаются, отличаются малой несущей способностью. Малые опоры (трубостойкий, триподы) высотой не более 10 метров могут размещаться на крышах зданий и сооружений, что позволяет улучшить зону покрытия в городской застройке.



Оборудование сотовой связи

Смешанные конструкции – конструкции, совмещающие башенные и мачтовые элементы, основание может быть от башни, а верхняя часть конструкции от мачты. Данные конструкции реже используются, исключительно для специальных технических задач.

Основным материалом антенно-мачтовых сооружений является сталь с антикоррозийным покрытием; для опор небольшой высоты применяют также железобетон [3, 5].

Фундаменты рассчитываются по результатам инженерно-геологических изысканий, с учетом характеристик ветрового района размещения, весовых, высотных показателей сооружения и необходимого к размещению оборудования.

### **Основные методы строительства**

Основные методы строительно-монтажных работ антенно-мачтовых сооружений [2, 4, 6, 7]:

#### **1. Секционный монтаж**

- Метод заключается в последовательной сборке мачты из отдельных секций, которые монтируются снизу вверх.
- Для подъема секций используют краны или специализированное подъемное оборудование.
- Особенно применим для стальных мачт и колонн высотой до 40 метров.
- В процессе сборки секции поднимаются краном и соединяются между собой на месте или на земле, после чего поднимаются в вертикальное положение.
- Требует значительной площади для выполнения сборочных работ и размещения строительной техники.

#### **2. Монтаж сборных металлических мачт**

- Все элементы мачты предварительно изготавливаются на заводе или в цеховых условиях.
- После этого монтаж осуществляется на месте установки: собираемые элементы поднимаются и соединяются на высоте с помощью кранов.
- Такой подход ускоряет монтаж, снижает трудовые затраты и повышает качество сборки.

#### **3. Монтаж с оттяжками и анкерами**

- Для башен и высоких сооружений используют метод с оттяжками, которые обеспечивают дополнительную стабильность.

— В процессе монтажа устанавливаются анкерные крепления, а натяжение оттяжек достигается с помощью натяжителей, что позволяет стабилизировать сооружение с высокой точностью и минимизировать деформации.

#### **4. Посекционный монтаж**

- Применяется для больших высотных конструкций и башен.
- Часто осуществляется с предварительной сборкой секций на земле либо полностью, либо частично, и последующим подъёмом всей или части конструкции целиком.
- Такой способ позволяет сократить сроки строительства и повысить безопасность монтажа.

#### **5. Модульный и сборно-разборный монтаж**

- Использование готовых модулей или секций, монтируемых с минимальной обработкой и сборкой на объекте.
- Этот метод существенно сокращает сроки строительства, а также снижает затраты и сложности при монтаже.

#### **6. Монтаж в труднодоступных районах**

- В случаях невозможности использования стандартной строительной техники применяют авиацию – монтаж с помощью вертолетов.
- Такой подход позволяет поднимать тяжелые конструкции и элементы в зоны с ограниченным доступом или сложным рельефом.

### **Заключение**

Выбор метода строительства антенно-мачтовых сооружений (АМС) определяется комплексом факторов, включая требуемую высоту конструкции, эксплуатационные характеристики, особенности участка строительства, бюджетные ограничения и сроки реализации проекта [8, 9]. В современных условиях значительное внимание уделяется внедрению инновационных технологий, таких как модульный монтаж, позволяющий повысить скорость и эффективность возведения, а также упростить последующую эксплуатацию АМС.

Перечисленные методы строительства – монтаж сборных металлических мачт, возведение железобетонных башен, использование

трубчатых и тросовых мачт, а также модульных систем – широко применяются в сотовой связи. Они закреплены в действующей нормативной документации, отражены в практике проектирования и промышленной эксплуатации антенно-мачтовых сооружений.

Таким образом, грамотный выбор технологии строительства с учётом конкретных условий и требований обеспечит устойчивость, надежность и эффективное функционирование антенно-мачтовых сооружений на протяжении всего срока эксплуатации.

### **Литература**

1. Бовтев С. В. Методы и формы организации строительного производства : учебное пособие / С. В. Бовтев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 221 с.
2. Иванов И. И. Современные методы строительства антенно-мачтовых сооружений // Вестник связи. – 2024. – № 5. 34–40 с.
3. ГОСТ Р 56842–2015. Башни и мачты антенно-мачтовые. Основные параметры. – М. : Стандарт, 2016.
4. Петров П. П. Инновационные технологии монтажа в строительстве АМС // Строительство и эксплуатация. – 2025. – № 2. 45–51 с.
5. Сидоров А. А. Конструктивные особенности мачт сотовой связи и их монтаж // Технические средства связи. – 2023. – Т. 19, № 3. 15–22 с.
6. Сидоров А. А. Технологии строительства башен сотовой связи // Строительство и связь. – 2025. – Т. 15, № 2.
7. Руководство по строительству линейных сооружений связи. – Москва, 2024.
8. Попова О. А. Анализ методов контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости на основе современных цифровых технологий / О. А. Попова // Сборник статей магистрантов и аспирантов строительного факультета : в 2 т. Т. 2 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – С. 64.
9. Руденко А. А. Алгоритмизация процесса обеспечения строительства материальными ресурсами в условиях неопределенности и риска / А. А. Руденко, Р. В. Мотылев. – Текст : электронный // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. С. 34–40.

**УДК 69.05**

Александр Сергеевич Дербенев,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* derbenev2209@gmail.com

Aleksandr Sergeevich Derbenev,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* derbenev2209@gmail.com

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

### **OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES IN THE CONSTRUCTION OF INDIVIDUAL RESIDENTIAL BUILDINGS IN AN URBAN ENVIRONMENT**

Статья рассматривает проблемы строительства частных домов в условиях плотного городского заселения на примере г. Отрадное Ленинградской области. Освещаются сложности, возникающие из-за небольших участков земли, близости существующего жилья и препятствий в доставке материалов. Предлагаются способы преодоления этих трудностей через улучшение планирования, внедрение современных технологий (включая BIM), контроль качества и финансовые меры. Подчеркивается важность комплексного подхода для достижения комфорта и экологической устойчивости жилой застройки.

*Ключевые слова:* индивидуальное жилищное строительство (ИЖС), ограниченное пространство, модульный подход, плотная застройка, компактная техника, цифровизация, комплексный подход.

The article examines the problems of building private houses in conditions of dense urban settlement using the example of the city of Otradnoye, Leningrad region. The difficulties arising from small plots of land, the proximity of existing housing and obstacles in the delivery of materials are highlighted. Ways to overcome these difficulties are proposed through improved planning, the introduction of modern technologies (including BIM), quality control and financial measures. The importance of an integrated approach to achieve the comfort and environmental sustainability of residential buildings is emphasized.

*Keywords:* individual housing construction; limited space, modular approach, dense buildings, compact technology, digitalization, integrated approach.

Строительство индивидуального жилищного строительства (ИЖС) в городах сталкивается с рядом проблем, особенно в условиях ограниченного пространства и плотной застройки. Город Отрадное Ленинградской области, с его уникальными территориальными и инфраструктурными особенностями, является ярким примером таких сложностей.

Одной из ключевых проблем является ограниченность строительной площадки. Участки в Отрадном, как правило, имеют небольшие размеры, варьирующиеся от 6 до 12 соток, что создает стесненные условия для строительства. Близость соседних домов, деревья и существующие коммуникации существенно ограничивают возможности для размещения строительной техники и временных сооружений.

Для эффективного использования участка необходимо тщательно планировать зонирование, выделяя зоны для строительства, хранения материалов и утилизации отходов. Это требует учета нормативных требований и проведения предварительных изысканий. Технические сложности, связанные с ограниченной рабочей зоной, создают дополнительные трудности для размещения строительной техники, бытовок и складов.

Строительство в городских условиях осложняется рядом факторов [1]:

1. *Логистика*: Узкие улицы и дефицит парковочных мест затрудняют доставку и хранение стройматериалов, вынуждая планировать завоз в ограниченных временных интервалах.

2. *Охрана окружающей застройки*: чтобы избежать повреждения близлежащих зданий, необходимы защитные экраны, контроль уровня вибрации и защита окон и дверей.

3. *Экология*: необходимо сохранять зеленые зоны, защищать деревья от повреждений корней и восстанавливать утраченную зелень.

4. *Регулирование шума и вибрации*: шум и вибрация снижают комфорт проживания, поэтому нужны строгие ограничения по проведению шумных работ, особенно в праздники и выходные.

5. *Подключение коммуникаций*: сложности возникают при подключении к водоснабжению, канализации и электроэнергии из-за длительного согласования и ограничений по мощностям.

Эти проблемы требуют тщательного планирования и учета всех нюансов городской среды для качественного и комфортного строительства.

Для решения этих проблем необходимо применять комплексный подход, включающий организационные, технические и экономические меры [2].

***Основные положения:***

***1. Планирование строительства:***

- Предварительное исследование участка и анализ технических условий.
- Создание календарных планов и технологических карт.
- Организация временных инфраструктурных объектов (дороги, склады).

***2. Организация строительного процесса:***

- Стандартизация процедур и интеграция типовых решений.
- Применение модульного подхода для ускорения сроков и сокращения затрат.
- Контроль качества на каждом этапе.

***3. Экологические и ресурсосберегающие решения:***

- Использование энергоэффективных материалов и технологий.
- Минимизация воздействия на окружающую среду.

***4. Цифровизация и современные технологии:***

- Применение BIM-технологий для цифрового моделирования и мониторинга.
- Автоматизированные системы управления качеством и ресурсом.

***5. Экономика и финансовое обеспечение:***

- Прогнозирование затрат и управление бюджетами.
- Страхование рисков и систематический финансовый контроль.

Детальное планирование всех этапов строительства, создание единого графика работ и организация контроля качества являются важными организационными мерами.

Технические решения должны включать применение компактной техники, оптимизацию методов строительства и использование информационных систем для мониторинга и управления процес-

сом [3]. Экономические аспекты должны учитывать прогнозирование затрат, рациональное использование ресурсов и страхование от возможных рисков.

Таким образом, анализ проблем ИЖС в городе Отрадное Ленинградской области показывает, что для успешного развития этого направления необходимо учитывать множество факторов и применять комплексный подход к их решению.

Современные требования к качеству, срокам и стоимости строительства индивидуальных жилых домов обуславливают необходимость разработки и внедрения эффективных методологических подходов к оптимизации строительных процессов. Комплексная оптимизация включает планирование, использование модульного подхода, внедрение современных технологий, цифровизацию управления и оценку экономических показателей.

Планирование всех этапов строительства является основой эффективной организации строительного процесса. Предпроектный анализ включает исследование участка, оценку возможностей, анализ ограничений и изучение коммуникаций. Разработка календарного плана определяет последовательность работ, расчет необходимых ресурсов, планирование поставок и организацию рабочей силы. На этапе организации строительного процесса создаются технологические карты, разрабатываются схемы движения техники, планируются зоны складирования и временные дороги.

Модульный подход позволяет стандартизировать использование типовых решений, готовых модулей и унификации деталей. Это способствует оптимизации производства, параллельному выполнению работ, минимизации простоев и эффективному использованию рабочей силы. Модульность сокращает сроки строительства, снижает затраты, повышает качество и уменьшает отходы.

Экологические решения включают [4] использование возобновляемых источников энергии, переработанных материалов и систем водосбережения.

Цифровизация управления строительством обеспечивает внедрение BIM-технологий для создания цифровой модели объекта, визуализации процессов и контроля выполнения работ. Системы

управления автоматизируют документооборот, мониторинг ресурсов и контроль качества. Информационные платформы используются для управления проектами, координации участников и анализа эффективности.

Методы оптимизации процессов включают организационные меры, такие как система контроля, управление рисками и идентификация проблем [3]. Экономические аспекты оптимизации оцениваются по показателям снижения затрат, повышения рентабельности, увеличения производительности, снижения издержек и улучшения качества.

Практическая реализация оптимизации включает подготовительный этап, включающий анализ текущего состояния, разработку стратегии и обучение персонала. Внедрение изменений осуществляется поэтапно с тестированием процессов и корректировкой методик. Оценка результатов включает анализ эффективности, сбор обратной связи и внесение корректировок.

Комплексная оптимизация строительных процессов в ИЖС позволяет повысить эффективность, снизить затраты, улучшить качество, сократить сроки и минимизировать риски. Внедрение современных технологий, цифровизация управления и использование модульного подхода являются ключевыми факторами успешной реализации этих задач.

Строительство индивидуального жилого дома включает множество этапов, среди которых важное место занимает организация инженерных сетей. От успешного подключения к водоснабжению, канализации, электроснабжению и другим системам зависит комфорт и безопасность проживания будущих жильцов. Комплексный подход к проектированию позволяет оптимизировать затраты и обеспечить эффективное функционирование всех инженерных систем. Важно также учитывать возможность использования современных технологий и материалов, что может значительно повысить надежность и долговечность системы.

Строительство индивидуального жилищного строительства (ИЖС) является важным этапом развития частного сектора и повышения качества жизни граждан. Однако процесс возведения жилых

объектов сопряжен с рядом трудностей, включая организацию работ, управление командой, контроль качества, использование современных технологий, экономические аспекты и управление рисками.

Организация строительного процесса начинается с изучения участка. Важными этапами являются топографическая съемка, анализ грунта, проверка наличия коммуникаций и учет климатических условий.

На основании полученных данных разрабатывается детальный план строительства, включающий график работ, технологические карты и организацию логистики. Подготовка территории включает создание временных дорог, складских помещений и вспомогательных сооружений.

Эффективное управление командой является залогом успешного выполнения проекта. Необходимо разработать единое расписание, назначить ответственных за ключевые этапы, а также организовать регулярные встречи для оперативного решения возникающих проблем. Важно также вести детальную документацию, включая журналы работ, акты приемки и протоколы совещаний.

Контроль качества на всех этапах строительства является необходимым условием для обеспечения надежности и долговечности возводимого объекта.

Регулярный мониторинг включает ежедневную проверку выполненных работ, контроль качества используемых материалов и тестирование конструкций. Для этого применяются как визуальные методы оценки, так и лабораторные анализы и инструментальные измерения.

В случае выявления ошибок необходимо оперативно разработать решения и провести корректировку работ. Важно также предусмотреть профилактические меры для минимизации рисков возникновения проблем в будущем.

Современные технологии играют важную роль в повышении эффективности и качества строительства. Использование компактной техники, такой как мини-экскаваторы, компактные погрузчики и малые краны, позволяет оптимизировать процессы и снизить затраты. Инновационные методы, такие как префабрикация, модульное

строительство и 3D-печать, позволяют ускорить строительство и повысить его качество.

Особое внимание следует уделить специализированному оборудованию, включая бетононасосы, сварочные аппараты и мобильные генераторы. Оптимизация процессов достигается за счет стандартизации операций, унификации технологических карт и минимизации простоев. Безопасность на строительной площадке обеспечивается путем ограждения рабочих зон, контроля опасных участков и соблюдения правил охраны труда.

Цифровизация процессов строительства позволяет повысить эффективность управления проектами и сократить затраты. Использование современных инструментов, таких как BIM (Building Information Modeling), системы проектного управления и электронный документооборот, обеспечивает более точный контроль и планирование работ [5, 6].

Автоматизация мониторинга ресурсов, контроля выполнения и управления затратами позволяет оперативно реагировать на изменения и оптимизировать процессы.

Анализ эффективности, оценка рисков и оптимизация процессов на основе данных, полученных с помощью цифровых инструментов, способствуют повышению качества строительства и снижению вероятности возникновения проблем.

Планирование бюджета является ключевым элементом успешного строительства. Структура расходов включает основные затраты, дополнительные расходы и резервы. Оптимизация затрат достигается за счет выбора поставщиков, оптимального времени закупок и групповых закупок. Финансовый контроль включает планирование бюджета, мониторинг затрат и анализ расходов.

Эффективное использование ресурсов [7] является важным аспектом снижения затрат и повышения качества строительства. Рациональное потребление материалов, снижение отходов и переработка материалов позволяют оптимизировать расходы. Оптимальная эксплуатация техники, регулярное обслуживание и рациональное использование оборудования способствуют повышению эффективности. Квалифицированные кадры, мотивация сотрудников и обу-

чение новым методам также играют важную роль в успешном выполнении проекта.

Страхование является важным инструментом управления рисками при строительстве. Виды страхования включают страхование построек, страхование ответственности и страховку для работников. Управление рисками включает определение возможных угроз, оценку их вероятности и разработку мер по минимизации последствий. Регулярный мониторинг, профилактические меры и создание резервных фондов способствуют снижению вероятности возникновения проблем [8].

*Практическая реализация [9, 10]:*

- Проведение предварительного анализа ситуации.
- Постепенное внедрение инноваций с адаптацией команд.
- Постоянный мониторинг и коррекция процессов.

*Основные выводы:*

- Строительство индивидуального жилья в сложных городских условиях требует комплексного подхода.
  - Современные требования к качеству, срокам и стоимости определяют необходимость инновационных методологических решений.
  - Оптимизация охватывает планирование, проектирование, внедрение технологий, цифровизацию и экономическое обоснование.

Таким образом, оптимизации строительных процессов при возведении индивидуальных жилых домов открывает возможности повышения эффективности индивидуального строительства, что позволит минимизировать риски, сократить сроки выполнения работ, повысить качество объектов. Внедрение цифровизации с использование современных технологий проектирования и возведения комплексной застройки в городской среде станет адекватным методом способным обеспечить успешное выполнение проектов в сфере индивидуального жилищного строительства, что повысит качество жизни.

### **Литература**

1. Андреев А. В., Петров Б. Н. Проблемы и перспективы строительства индивидуального жилья в условиях городской застройки // Вестник строительной индустрии. – 2022. – № 3. – С. 15–22.

2. Борисова Е. С. Особенности организации строительного процесса в условиях ограниченности площадей и плотной застройки городов // Научные труды института градостроительства. – 2023. – № 1. – С. 34–41.
3. Иванов Д. А., Сидоров Н. Г. Методические основы оптимизации строительных процессов при возведении индивидуальных жилых домов // Жилищное строительство. – 2022. – № 2. – С. 28–35.
4. Казаков Ю. И. Экологические аспекты строительства индивидуальных жилых домов в условиях плотной городской застройки // Экологический вестник России. – 2022. – № 4. – С. 55–61.
5. Кузнецов 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.
6. Сергеев П. К., Степанов А. Е. Повышение эффективности строительства индивидуальных жилых домов средствами цифровизации и автоматизации // Строительные технологии XXI века. – 2022. – № 4. – С. 63–70.
7. Морозова Л. П. Совершенствование методики расчета затрат и финансирования строительства индивидуальных жилых домов // Бюджет и финансы. – 2022. – № 3. – С. 38–44.
8. Орлов С. Ю. Система управления рисками и страхованием при строительстве индивидуальных жилых домов // Управление строительными проектами. – 2023. – № 2. – С. 19–25.
9. Федоров А. Р. Современные тенденции в технологиях индивидуального домостроения // Архитектура и строительство Москвы. – 2023. – № 1. – С. 22–28.
10. Харченко Н. Б., Гордеев В. И. Оптимизация процессов строительства индивидуальных жилых домов методами предпроектного анализа и планирования // Проектирование и строительство. – 2022. – № 2. – С. 48–54.

**УДК 69:624**

*Наталья Александровна Ефремова,  
студент*

*Сергей Владимирович Бовтев,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)*

*E-mail: Nataliefremova03@yandex.ru*

*Natalya Aleksandrovna Efremova,  
student*

*Sergei Vladimirovich Bovteev,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)*

*E-mail: Nataliefremova03@yandex.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ JET GROUTING В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **APPLICATION OF JET GROUTING TECHNOLOGY IN MODERN CONSTRUCTION**

В статье рассмотрены особенности и практика применения технологии струйной цементации (Jet Grouting) в современном строительстве. Jet Grouting представляет собой метод инъекционного усиления грунтов за счет разрушения и перемешивания их с цементной суспензией под высоким давлением. Приведена история становления и развития технологии от первых японских разработок до её широкого применения в Европе, Северной Америке и России. Описаны технические основы метода, разновидности (однокомпонентный, двухкомпонентный, трехкомпонентный) и особенности их применения. На конкретных примерах проиллюстрированы области эффективного использования технологии: реконструкция исторических сооружений, гидротехническое строительство, тоннели, свайные фундаменты и геокриологические задачи. Проведено сравнение Jet Grouting с альтернативными технологиями, выделены преимущества и существующие ограничения данного метода. Предложены возможные пути решения выявленных недостатков.

*Ключевые слова:* струйная цементация, Jet Grouting, укрепление грунтов, геотехника, противофильтрационные завесы, реконструкция фундаментов.

The article discusses the features and practical applications of Jet Grouting technology in modern construction. Jet Grouting is an injection-based method for soil reinforcement, involving high-pressure erosion and simultaneous mixing of soils with a cement suspension. The article presents the history of this technology, from early Japanese developments to its widespread adoption in Europe, North America, and Russia. It describes the technical fundamentals, variations (single-component,

double-component, and triple-component methods), and their specific applications. Concrete examples illustrate effective applications of the technology, including reconstruction of historical buildings, hydro-engineering projects, tunneling, pile foundations, and geocryological challenges. Jet Grouting is compared with alternative technologies, highlighting its advantages and existing limitations. Potential solutions to identified drawbacks are suggested.

*Keywords:* soil jet grouting, Jet Grouting, soil reinforcement, geotechnics, anti-filtration barriers, foundation reconstruction.

Метод струйной цементации (Jet Grouting) предполагает создание грунтоцементных элементов путём разрушения и одновременного смешивания грунта с цементным раствором под высоким давлением. Этот способ позволяет формировать колонны, массивы или другие конструкции, усиливающие грунтовые основания и устраняющие просадки фундаментов [1].

История развития технологии Jet Grouting.

Технология струйной цементации (Jet Grouting) зародилась в Японии в 1960-х годах. Первые опыты японских инженеров, включая метод «ССР», предложенный Наканиши в 1970 году, продемонстрировали, что подача цементного раствора под высоким давлением способна разрушать грунт и создавать прочные включения, значительно усиливающие его структуру [2].

В 1970–1980-х годах технология стремительно развивалась: появились многоструйные установки с двумя и тремя компонентами, метод стал широко использоваться в Европе и Северной Америке. В России и на постсоветском пространстве активное внедрение Jet Grouting началось позже – в конце 1990-х и начале 2000-х годов. Появление отечественного оборудования и подрядных организаций позволило применять метод в значимых проектах. Так, в 2007 году струйную цементацию впервые использовали при строительстве плотины Сангтудинской ГЭС в Таджикистане для укрепления основания дамбы [2–3].

С начала 2000-х технология стала использоваться и в гражданском строительстве – укрепление грунтов при возведении жилых домов, дорог, метрополитена. За последние два десятилетия метод уверенно вошёл в практику отечественного геотехнического

строительства, дополнив традиционные подходы и открыв новые возможности для безопасного и эффективного освоения сложных грунтов [4].

Технические основы метода струйной цементации.

Струйная цементация – это метод усиления грунтов, при котором цементный раствор подаётся в толщу грунта под высоким давлением. Суть технологии – в разрушении и одновременном перемешивании грунта с цементной суспензией, создавая монолитные элементы высокой прочности [1, 5].

Вначале бурится скважина диаметром 100–130 мм до проектной глубины. В её нижней части размещают специальный инъектор (монитор) с боковыми соплами. Через них цементная смесь подаётся под давлением до 40–50 МПа. Струя, вырываясь со скоростью сотни метров в секунду, размывает и измельчает грунт, заменяя его смесью.

Одновременно буровая колонна вращается и медленно извлекается, формируя цилиндрическую колонну из грунтоцемента. После твердения в массиве образуется прочный элемент диаметром от 0,6 до 2 метров, способный воспринимать нагрузки и выполнять функции упрочнения, изоляции или основания.

Необходимое оборудование (рис. 1) [6]:

- Буровая установка (с буровым станком и колонной) – специально предназначена для работ по струйной цементации. Может оснащаться различными системами подачи раствора, воздуха и/или воды;
- Насосно-смесительный блок – для приготовления и подачи бурового раствора (цементной суспензии) под высоким давлением;
- Устройства контроля и управления – манометры, расходомеры, системы гидравлики и автоматики;
- Система подачи воздуха (опционально) – для технологий «двойной» или «тройной» струи, где одновременно используются струи раствора и воздуха.

Разновидности Jet Grouting.

Существует три основных варианта струйной цементации: Jet-1, Jet-2 и Jet-3, которые отличаются числом подаваемых компонентов и областью применения [1, 3].

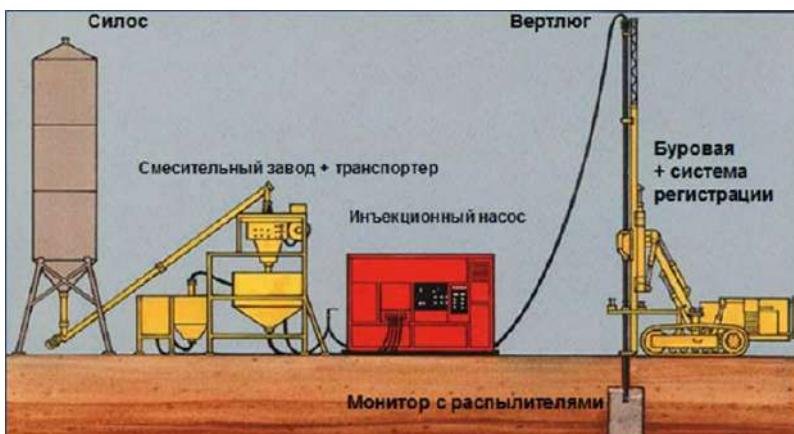


Рис. 1. Оборудование, необходимое для технологии Jet Grouting

Jet-1 (однокомпонентный) – самый простой метод, при котором в грунт подаётся только цементный раствор под высоким давлением. Эффективен для рыхлых, водонасыщенных грунтов (пески, суспензии), формирует колонны диаметром до 1,2 м.

Jet-2 (двухкомпонентный) – дополнительно используется сжатый воздух, который усиливает разрушение плотного грунта и увеличивает диаметр колонн до 1,8 м. Особенно хорошо работает в суглинках и глинах.

Jet-3 (трёхкомпонентный) – самый сложный и мощный метод: вода, воздух и цемент подаются отдельно. Это позволяет точно управлять процессом разрушения и инъекции, получая колонны диаметром до 3 м и более. Применяется при особо ответственных задачах, где важны качество, прочность и охват больших объёмов.

Глубина обработки может достигать 30...50 м, а диаметр колонн от менее 1 м до 5 м в экспериментальных проектах. Такой диапазон делает технологию гибким инструментом для укрепления грунтов в самых разных условиях: от уплотнения слабых оснований до создания массивных противофильтрационных завес. Визуально методы представлены на рисунке 2 [7].

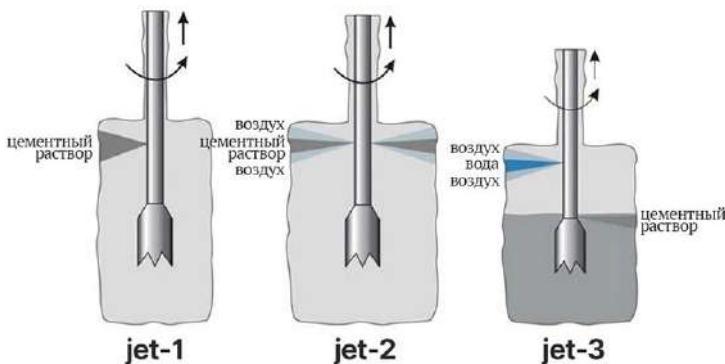


Рис. 2. Разновидности Jet Grouting [7]

Современное применение технологии Jet Grouting.

Jet Grouting активно применяется в геотехнике как универсальный метод укрепления и изоляции грунтов. Его возможности подтверждены на практике в различных отраслях:

1. Реконструкция в условиях плотной застройки. Применяется для усиления фундаментов без раскопок. Например, в Санкт-Петербурге (Почтамтская ул., 2008 г.) колонны струйной цементации обеспечили водонепроницаемое основание котлована и защиту старых фундаментов от осадки [4].

2. Гидротехническое строительство. На Сангрудинской ГЭС (Таджикистан) технология использовалась для создания завесы под плотиной, снизив фильтрацию и повысив устойчивость основания [1].

3. Тоннельное строительство и ликвидация аварий. В Бангкоке (MRT Blue Line) струйные колонны были применены для экстренной стабилизации кровли тоннеля после обвала, позволив безопасно продолжить проходку [2].

4. Ограждения и укрепление котлованов. Перекрывающиеся колонны Jet Grouting используются как подпорные стены и конструкции ограждения, работающие на изгиб и срез. Также укрепление грунта основания [6, 8].

5. Фундаменты высотных зданий и зданий класса повышенной ответственности. Технология AtlantJet сочетает струйную

цементацию с анкерованием, формируя несущие элементы с нагрузочной способностью до 3 МН. Также струйная цементация Jet-grouting была применена при строительстве футбольного клуба «Краснодар». Данное сооружение относится к объектам повышенной ответственности [8, 9].

6. Решение проблемы вечной мерзлоты. В Норильске и других северных городах метод тестируется для стабилизации оснований зданий на протаивающих грунтах путём точечной цементации таликов [1].

Jet Grouting также применяют для борьбы с карстом, защиты от ликуефакции, создания «стен в грунте» и прочих задач, требующих точного контроля за усилением массива. Благодаря высокой гибкости и способности работать в сложных условиях метод остаётся актуальным и перспективным в строительной практике.

#### Сравнение с альтернативными технологиями.

По охвату типов грунта и функциональности Jet Grouting пре-восходит большинство традиционных методов. Там, где нужно одновременно повысить прочность грунта и снизить его водопроницаемость, альтернатив практически нет – химическое инъектирование снижает проницаемость, но мало увеличивает прочность; буровые сваи повышают прочность (несущую способность), но не влияют на водопроницаемость массива. Только методы глубокого перемешивания (DSM) близки по воздействию, но они требуют более рыхлых грунтов и большого пространства для техники. Сравнение альтернативных технологий приведено в табл. 1 [1, 9, 10].

Таблица I

## Сравнение сальтернативными технологиями

Упрочнение основания	Критерий Jet Grouting	DSM (глубокое смешивание)	Инъекционное закрепление	Буроинъек- ционные сваи	Виброплотне- ние свайки
Снижение водопроницаемости	Высокое	Высокое	Низкое-Среднее	Высокое (точечно)	Среднее
Применимость в глинах и илах	Высокое	Среднее	Среднее-Высокое	Низкое	Низкое
Возможность работы в стеснён- ных условиях	Высокая	Низкая	Ограничennaя	Средняя	Неэффективно
Уровень шума и вибраций	Низкий	Низкий	Низкий	Средний	Средняя
Однородность укреплённого массива	Средняя	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Производительность на боль- ших объёмах	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Сложность и стоимость обору- дования	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая
Образование отходов (шлам)	Средняя- Высокая	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Экологическая нагрузка (CO <sub>2</sub> )	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая

Преимущества и недостатки. Возможные пути решения.

Метод Jet Grouting имеет широкий спектр применения в различных грунтах, минимально воздействует на соседние конструкции, эффективно работает в ограниченном пространстве, сочетает в себе функции упрочнения и гидроизоляции, обеспечивает высокую скорость выполнения работ(зачастую это является одним из ведущих факторов, при возведении некоторых объектов), обладает гибкостью геометрических форм и высокой прогнозируемостью результатов, а при армировании или ином укреплении элементов в разы увеличивают несущую способность. Однако метод характеризуется образованием значительного объёма отходов (шлама), высоким расходом цемента с большим углеродным следом, высокой стоимостью и сложностью оборудования, а также возможным риском неоднородности и неполного охвата укрепляемого массива [7, 8]. Возможные пути решения недостатков приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Возможные пути устранения недостатков**

Ограничение	Суть проблемы	Современные решения
Шлам – до 0,8 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> колонны	Требует вывоза, высокое рН	Рециклинг: отделение и повторное использование цемента (Keller, 2024)
Высокий расход цемента → CO <sub>2</sub>	≈ 278 000 т CO <sub>2</sub> /год	Частичная замена клинкера зольными/шлаковыми смесями; geopolимерные вяжущие
Стоимость и квалификация	Требуются операторы 4–6-го разрядов; спецоборудование	VR-тренажёры, модульные курсы
Неоднородность колонн	Окна между элементами, вариация диаметра	Повышенный переход 20–30 %; 3D-сканирование скважин

**Заключение**

Струйная цементация (Jet Grouting) доказала свою эффективность как универсальный метод укрепления грунтов в сложных ин-

женерных условиях. Пройдя путь от первых японских разработок до современных цифровых технологий, она стала важным инструментом в строительстве подземных сооружений, реконструкции и защите оснований. При грамотном применении метод обеспечивает прочность, гидроизоляцию и минимальное воздействие на окружающую среду. Сегодня всё чаще Jet Grouting используют в сочетании с другими технологиями, добиваясь комплексных решений. Технология продолжает развиваться, оставаясь востребованной в арсенале современной геотехники.

### Литература

1. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов / А. Г. Малинин. М. : Стройиздат, 2010 – 226 с.
2. Junichi Yamazaki, Kuo Chieh Chao, P E Chao, Ricky K. N. Wong. Development of the Jet Grouting Method: Evolutionary History, Mechanism Insights, Innovative Approaches, and Future Prospects – October 2023, The 21st Southeast Asian Geotechnical Conference and 4th AGSSEA.
3. Tomasz Brzeski. Jet grouting (польск.) – 2009-05-04.
4. Черняков А. В. Применение струйной цементации грунтов в условиях исторической застройки. Жилищное строительство. 2011. Вып. 9. С. 24–26. ISSN 0044-4472.
5. Grouting of bridge post-tensioning tendons. Training Manual. Florida Department of Transportation JULY 2002 – 29 с.
6. СП 291.1325800.2017. Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования.
7. Современные способы устройства ограждений котлованов – Евгений Алексеевич Бойченко / Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, посвященной 190-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ – СПбГАСУ) – 28–29.04.2022.
8. Зуев С. С., Маковецкий О. А., Хусаинов И. И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов. С. 171–177.
9. Ильин С. Н. Применение буроинъекционных свай в различных областях строительства (для обучающихся по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений) : учебно-методическое пособие / С. Н. Ильин. – Санкт-Петербург : Изд-во ВИ(ИТ) ВА МТО, 2019. – 45 с.
10. Современные свайные технологии : учебное пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин ; 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : АСВ, 2010. – 240 с.

**УДК 658.513.4**

*Рушан Раилевич Закиров,*

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: rush.zakirov@yandex.ru*

*Rushan Railevich Zakirov,*

student

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: rush.zakirov@yandex.ru*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ VR- И AR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES FOR APPLYING VR- AND AR-TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION ORGANIZATION**

Статья посвящена анализу возможностей внедрения технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) в процессы организации строительства. Рассматриваются ключевые направления применения, проблемы интеграции, а также практическая значимость использования данных технологий. На основе опыта строительных компаний приведены преимущества VR- и AR-технологий в проектировании, управлении строительством, обучении персонала и обеспечении безопасности. Сделан акцент на экономическую эффективность и вызовы, связанные с высоким порогом входа. Проведен обзор современного состояния технологий и разработаны рекомендации по её интеграции в рабочие процессы строительных организаций.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, дополненная реальность, строительство, информационное моделирование зданий, безопасность строительства.

The article is devoted to analyzing the potential for implementing virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies in construction management processes. Key areas of application, integration challenges, and the practical significance of these technologies are examined. Drawing on the experience of construction companies, the article highlights the advantages of VR/AR in design, construction management, personnel training, and safety assurance. Particular attention is paid to economic efficiency and the challenges associated with the high entry threshold. The current state of the technology is reviewed, and recommendations are developed for its integration into the workflows of construction organizations.

*Keywords:* virtual reality, augmented reality, construction, Building Information Modeling (BIM), construction safety.

Развитие цифровых технологий оказывает значительное влияние на традиционные методы в строительной отрасли. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение VR (Virtual Reality) и AR (Augmented Reality) технологий в процессы организации строительства. Они позволяют по-новому организовать проектирование, планирование, контроль и обучение на всех стадиях жизненного цикла строительного объекта [1].

Применение VR-технологий в строительстве охватывает различные аспекты: от визуализации архитектурных решений до моделирования производственных процессов и подготовки персонала. Виртуальная среда позволяет инженерам и заказчикам оценить проектные решения до начала фактического строительства, определить и устранить возможные коллизии, а также повысить степень вовлеченности всех участников проекта, создавать иммерсивные модели строительных объектов, проводить виртуальные обходы. Высокая степень детализации 3D-моделей, имитирующих реальные условия, способствует снижению числа проектных ошибок и позволяет оптимизировать сроки и затраты на реализацию объектов [2]. VR-технологии позволяют проводить обучение работников в виртуальной среде, моделируя рабочие ситуации и отрабатывая действия в условиях, приближенных к реальности.

Технологии AR, в свою очередь, обеспечивают наложение цифровых данных на реальное изображение, что открывает новые возможности в мониторинге и управлении строительными работами [3]. С их помощью можно визуализировать проектируемые конструкции прямо на площадке, сравнивать проект с фактическим исполнением, а также проводить оперативный контроль качества работ и мгновенно выявлять отклонения.

Интеграция VR и AR с BIM-моделями позволяет создать мощную платформу для управления строительными проектами [4]. Совместное использование этих технологий обеспечивает интерактивную визуализацию не только геометрии, но и всех сопутствующих параметров строительных объектов, включая графики работ, последовательность операций и финансовые потоки. Такие подходы позволяют реализовывать концепции 4D- и 5D-моделирования.

Эти интеграции с BIM-системами позволяют в режиме реального времени синхронизировать проектные данные с процессами строительства, что важно для календарного планирования и логистики.

Для успешного внедрения VR и AR необходимо наличие высокопроизводительных вычислительных систем и графических станций, специализированных программных продуктов, устройств визуализации, системы хранения и обработки больших объемов данных.

Выделим преимущества данных технологий: повышение точности проектных решений, ускорение процесса согласования, снижение ошибок и затрат на переделки, экономия финансовых средств компаний на выездах, осмотрах и инструктажах, улучшенная визуализация и планирование, юридическая легитимность очному визиту, более точное понимание поставленных задач персоналом.

Однако, несмотря на очевидную пользу, внедрение информационных технологий в строительную практику сопровождается рядом проблем. Среди них можно выделить высокую стоимость оборудования и программного обеспечения, необходимость подготовки квалифицированных кадров, а также низкий уровень стандартизации и нормативного регулирования в данной области. Кроме того, значительное влияние на успешность внедрения оказывают организационные и психологические барьеры, связанные с сопротивлением изменениям со стороны персонала и управленческого звена по необходимости переобучения.

Анализ существующих практик показывает, что наиболее перспективными направлениями применения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительстве являются: визуализация архитектурных и инженерных решений на этапах проектирования и согласования; обучение и повышение квалификации персонала с использованием иммерсивных симуляций; оперативный контроль выполнения СМР и проверка соответствия проекту; моделирование логистики и организации строительной площадки; обеспечение безопасности труда за счет моделирования потенциально опасных ситуаций в виртуальной среде, что, в свою очередь, снижает показатель частоты травм с потерей рабочего времени LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate).

Например, СИБУР внедрил собственную разработку – сервис «Удалённый эксперт AR» для поддержки своих клиентов. Это решение на базе технологий дополненной реальности позволяет взаимодействовать с коллегами, специалистами и консультантами, находящимися в других городах и странах. Использование данной технологии значительно уменьшает затраты времени и средств как для компании, так и для её партнёров. Так, выполняя задачу по проведению пусконаладочных работ удалось сократить срок проведения ПНР на 5 дней и в результате сэкономить 4 млн рублей [5].

Технологии виртуальной и дополненной реальности обладают высоким потенциалом для повышения эффективности строительной отрасли. Их использование позволяет оптимизировать процессы проектирования, согласования, строительства и обучения персонала. Для успешной интеграции необходимо развить нормативную базу, обучить специалистов, получить государственную поддержку и стандартизировать данные технологии.

Таким образом, широкое внедрение этих технологий способно существенно повысить конкурентоспособность российских строительных компаний как на внутреннем, так и на международном рынке.

### **Заключение**

Технологии виртуальной и дополненной реальности открывают новые возможности в организации строительных процессов. Их внедрение позволяет решать задачи комплексной визуализации, координации, повышения безопасности и качества работ. Несмотря на существующие барьеры, практика показывает высокую эффективность и перспективность данных технологий, что делает их интеграцию стратегически важным направлением развития строительной отрасли.

### **Литература**

1. Бовтев С. В., Ханова Л. Р. Опыт применения технологий информационного моделирования в проектировании и организации строительства // Организация строительного производства. – СПбГАСУ, 2021. – С. 55–66.
2. Корнева Е. Р., Сусоев И. С. Технологии виртуальной реальности в строительном проектировании // Вестник науки и образования, 2016. № 6(18). С. 116–117.
3. Разянов Р. В. Применение методов дополненной реальности в строительстве // Экономика строительства, № 5(71), 2021. С. 48–57.
4. Болотин С. А. [и др.]. Имитация календарного планирования в BIM-среде // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 82–86.
5. СИБУР начал применять продукт «Удаленный эксперт AR» [Электронный ресурс]. URL: <https://sibur.digital/131-sibur-zapustil-ar-konsultantov-na-predpriyatiyah-klientov/> (дата обращения: 28.04.2025).

**УДК 656**

Дмитрий Николаевич Иванов,  
студент  
Вера Михайловна Челнокова,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: idn.mgk@gmail.com,  
chelnokova.v.m@lan.spbgasu.ru

Dmitry Nikolaevich Ivanov,  
student  
Vera Mikhailovna Chelnokova,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: idn.mgk@gmail.com,  
chelnokova.v.m@lan.spbgasu.ru

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

### ANALYSIS OF LOGISTICS AND TECHNICAL SUPPORT OF CONSTRUCTION SITES

В статье рассматривается анализ материально-технического обеспечения (МТО) строительных объектов как комплексный процесс, критически важный для успешной реализации строительных проектов. Подчеркивается влияние эффективного МТО на снижение затрат, соблюдение сроков, повышение качества работ и минимизацию рисков в условиях современной конкурентной строительной индустрии. Описываются ключевые этапы анализа МТО, включающие изучение проектной документации, анализ рынка поставщиков, выбор оптимальных логистических схем, контроль качества ресурсов и управление рисками. На примере устройства фундамента демонстрируется расчет стоимости материалов с учетом предложений различных поставщиков. Обосновывается необходимость мониторинга показателей эффективности МТО для выявления проблемных областей и принятия корректирующих мер.

*Ключевые слова:* материально-техническое обеспечение, строительные объекты, анализ МТО, эффективность, оптимизация, логистика.

The article considers the analysis of the material and technical support (MTS) of construction projects as a complex process that is critical for the successful implementation of construction projects. It emphasizes the impact of effective MTS on reducing costs, meeting deadlines, improving the quality of work and minimizing risks in the conditions of the modern competitive construction industry. The key stages of the MTS analysis are described, including the study of design documentation, analysis of the supplier market, selection of optimal logistics schemes, resource quality control and risk management. Using the example of a foundation device,

the calculation of the cost of materials is demonstrated taking into account offers from various suppliers. The need to monitor the performance indicators of the MTS to identify problem areas and take corrective measures is substantiated.

*Keywords:* material and technical support, construction projects, material and technical support analysis, efficiency, optimization, logistics.

Анализ материально-технического обеспечения (МТО) строительных объектов представляет собой комплексный и многоаспектный процесс, направленный на оценку и оптимизацию всех этапов обеспечения строительной площадки необходимыми ресурсами: материалами, оборудованием, инструментом, техникой и кадровыми ресурсами.

В современной строительной индустрии, характеризующейся высокой конкуренцией, сжатыми сроками и строгими требованиями к качеству, эффективность МТО напрямую влияет на успешность реализации проекта. Анализ МТО позволяет выявить узкие места в логистической цепочке, оптимизировать процессы закупки, хранения, доставки и использования ресурсов, что способствует снижению затрат, сокращению сроков строительства, повышению качества выполняемых работ и минимизации рисков [1].

В основе анализа МТО лежит детальное изучение проектной документации, сметной стоимости строительства и календарного плана работ. На этом этапе необходимо определить точный перечень и объемы необходимых материалов, оборудования и техники для каждого этапа строительства, а также установить сроки их поставки. Далее проводится анализ рынка поставщиков, оцениваются их ценовые предложения, условия поставки, надежность и репутация.

Предположим, проектная документация содержит следующие данные по основным материалам для этапа «Устройство фундамента»:

- Бетон (марка В25): 15 м<sup>3</sup>
- Арматура (диаметр 12 мм): 1200 кг
- Опалубка (доска обрезная 25x150 мм): 3 м<sup>3</sup>

Расчет общей стоимости материалов для этапа «Устройство фундамента» на основе предложений поставщиков указан в таблице в рублях.

### Расчет стоимости для устройства фундамента

Материал	Единица измерения	Поставщик 1 (цена/ед)	Поставщик 2 (цена/ед)	Поставщик 3 (цена/ед)
Бетон (В25)	м <sup>3</sup>	4500	4300	4600
Арматура (12 мм)	кг	55	57	53
Доска обрезная (25x150)	м <sup>3</sup>	9000	8500	9500
Проволока вязальная	кг	150	140	160
Гвозди	кг	100	90	110

На основании проведенных расчетов и анализа дополнительных факторов, принимается решение о выборе поставщика. В данном примере, несмотря на то что Поставщик 2 предлагает немногим более низкую цену на материалы, Поставщик 1 может оказаться более предпочтительным, если условия предоплаты не являются критичными для финансового состояния строительной организации. Поставщик 3, несмотря на отсрочку платежа, становится менее привлекательным из-за более высокой стоимости материалов и дополнительных затрат на доставку.

Важным аспектом является выбор оптимальной логистической схемы, учитывающей особенности транспортной инфраструктуры, удаленность поставщиков и условия хранения материалов на строительной площадке. Эффективное управление складскими запасами позволяет избежать дефицита материалов и одновременно минимизировать затраты на их хранение. Важным этапом анализа МТО является контроль качества поступающих материалов и оборудования (рис. 1) [2].

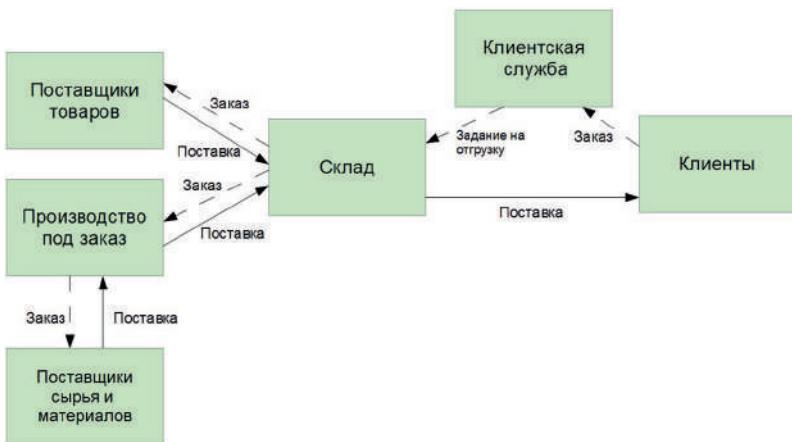


Рис. 1. Схема развития логистики

Необходимо организовать входной контроль на соответствие требованиям нормативной документации и проектным спецификациям. Некачественные материалы могут привести к снижению качества строительных работ и увеличению затрат на переделку. Учет и контроль использования ресурсов на строительной площадке позволяет избежать их нецелевого использования и хищений. Для этого необходимо внедрить систему учета движения материалов, оборудования и техники, а также проводить регулярные инвентаризации. Анализ рисков, связанных с МТО, также является важным этапом. Необходимо выявить потенциальные угрозы, такие как задержки поставок, рост цен на материалы, нехватка квалифицированных кадров и разработать меры по их предотвращению или минимизации последствий.

Эффективность МТО оценивается по ряду показателей, таких как стоимость материалов, сроки поставки, уровень складских запасов, процент брака и коэффициент использования техники. Анализ этих показателей позволяет выявить проблемные области и принять меры по их устранению [3].

Оптимизация МТО – это непрерывный процесс, требующий постоянного мониторинга и анализа. Необходимо регулярно пересматривать

тряивать стратегии закупок, логистические схемы и систему управления запасами, чтобы адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и требованиям проекта. Внедрение современных информационных технологий, таких как системы управления ресурсами предприятия (ERP) и системы управления складским хозяйством (WMS), позволяет автоматизировать процессы МТО, повысить их эффективность и снизить затраты.

Анализ МТО также включает оценку эффективности использования кадровых ресурсов (рис. 2). Необходимо определить потребность в квалифицированных рабочих и инженерно-технических работниках, а также разработать программы обучения и повышения квалификации персонала. Недостаток квалифицированных кадров может привести к снижению темпов строительства и ухудшению качества работ [4]. Важным аспектом анализа МТО является обеспечение безопасности на строительной площадке. Необходимо обеспечить соблюдение требований охраны труда и техники безопасности при выполнении строительных работ, а также предоставить работникам необходимые средства индивидуальной защиты.

Несоблюдение требований безопасности может привести к травмам и несчастным случаям на производстве. Анализ МТО также должен учитывать экологические аспекты строительства. Необходимо минимизировать негативное воздействие строительных работ на окружающую среду, использовать экологически чистые материалы и технологии, а также организовать утилизацию строительных отходов. В целом, анализ МТО является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода и участия специалистов различных профилей. Эффективное МТО позволяет строительным компаниям повысить свою конкурентоспособность, снизить затраты и успешно реализовывать строительные проекты любой сложности [5].

Правильно организованный анализ МТО позволяет предотвратить множество проблем, связанных с задержками в поставках, нехваткой ресурсов, низким качеством материалов и оборудования. Своевременное выявление и устранение узких мест в логистической цепочке позволяет оптимизировать процессы строительства

и обеспечить своевременное выполнение работ в рамках бюджета. Важно отметить, что анализ МТО должен быть адаптирован к специфике каждого конкретного проекта. Для небольших объектов можно использовать более простые методы анализа, а для крупных и сложных проектов требуется более глубокий и детальный анализ. Кроме того, необходимо учитывать региональные особенности и местные условия рынка при планировании МТО [6–8].



Рис. 2. Схема анализа трудовых ресурсов

Анализ материально-технического обеспечения строительных объектов является неотъемлемой частью успешного управления строительством. Он позволяет обеспечить строительную площадку необходимыми ресурсами в нужном количестве, в нужное время и с надлежащим качеством, что способствует снижению затрат, сокращению сроков строительства, повышению качества выполняемых работ и минимизации рисков. Эффективное МТО – это залог успешной реализации строительных проектов и повышения конкурентоспособности строительных компаний.

### **Литература**

1. Бовтев С. В. / Методы и формы организации строительного производства : учеб. пособие / С. В. Бовтев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 221 с.
2. О принципах и подходах цифровой логистики в сфере транспортных услуг государств – членов Евразийского экономического союза // ЕЭК : сайт / ЕЭК – URL: AD-O-printsipakh-i-podkhodakh-tsifrovoy-logistiki-v-sfere-transportnykh-uslug-gosudarstv-\_chlenov-EAES.pdf / (eaeuunion.org) (дата обращения: 31.10.2024).
3. Обеспечение ресурсами территориально удаленных объектов организаций // СПбГУ : сайт / СПбГУ – URL: Обеспечение ресурсами территориально удаленных объектов организаций › Научные исследования в СПбГУ (spbu.ru) (дата обращения: 31.10.2024).
4. Цифровизация логистики: планы и перспективы // клерк : сайт / клерк – URL: Цифровизация логистики: планы и перспективы (klerk.ru) (дата обращения: 31.10.2024).
5. Цифровизация логистических процессов российских предприятий на основе внедрения технологии RFID // economy.spbstu : сайт / economy.spbstu – URL: 03\_IIina,-Kirina.pdf/ (spbstu.ru) (дата обращения: 31.10.2024).
6. Попова О. А. Анализ методов контроля сроков строительства объектов жилой недвижимости на основе современных цифровых технологий / О. А. Попова // Сборник статей магистрантов и аспирантов строительного факультета : в 2 т. Т. 2 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – С. 64.
7. Руденко А. А. Алгоритмизация процесса обеспечения строительства материальными ресурсами в условиях неопределенности и риска / А. А. Руденко, Р. В. Мотылев. – Текст : электронный // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. – С. 34–40.
8. Болотин С. А. Прогнозирование окончания строительства на основе моделирования нелинейной зависимости от задержек отдельных работ / С. А. Болотин, М. А. Аль-Жанаби, Х. А. Бохан // Вестник гражданских инженеров. 2022 № 2(91), С. 83–90.

**УДК 69.001.5**

*Никита Андреевич Кащеев,*

студент

*Ксения Александровна Писарева,*

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: nicita.kasheev@yandex.ru,  
pisarevakc2003@yandex.ru*

*Nikita Andreevich Kashcheev,*

student

*Ksenia Aleksandrovna Pisareva,*

student

(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: nicita.kasheev@yandex.ru,  
pisarevakc2003@yandex.ru*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И КОНТРОЛЕ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ**

### **EVALUATION OF THE POSSIBILITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PLANNING AND CONTROLLING CONSTRUCTION PROJECTS TIMELINES**

Рассмотрены технологии искусственного интеллекта для планирования и контроля сроков строительных проектов. Показаны преимущества искусственного интеллекта перед традиционными подходами, включая анализ данных, прогнозирование отклонений и интеграцию с цифровыми средами. Приведен сравнительный анализ систем Pragmacore, QMonitoring, MStroy и Constru. Продемонстрирована возможность их применения в различных сферах управления проектами. Данна оценка возможности использования искусственного интеллекта для повышения точности планирования и контроля.

*Ключевые слова:* цифровые технологии, искусственный интеллект, машинное обучение, прогнозирование сроков, контроль сроков, предиктивная аналитика, прогнозирование отклонений.

Artificial intelligence technologies for scheduling and deadline control in construction projects are examined. The advantages of artificial intelligence over traditional approaches are demonstrated, including data analysis, deviation forecasting, and integration with digital environments. A comparative analysis of the systems Pragmacore, QMonitoring, MStroy, and Constru is presented. The possibility of applying these systems in various areas of project management is shown. The potential of artificial intelligence to improve the accuracy of scheduling and control is evaluated.

*Keywords:* digital technologies, artificial intelligence, machine learning, schedule forecasting, deadline control, predictive analytics, deviation forecasting.

Современные строительные проекты сталкиваются с необходимостью повышения точности и эффективности планирования и контроля сроков проектов. Любое отклонение от плана влечет за собой значительные экономические и организационные последствия [1]. В связи с всеобщей цифровизацией бизнеса и производства, особенно актуально использование последних передовых технологий, одной из которых является искусственный интеллект (ИИ). Применение ИИ автоматизирует управление проектами и проявляет конкурентные преимущества по сравнению с традиционными методами.

Цель исследования заключается в анализе возможностей искусственного интеллекта в планировании и контроле сроков строительных проектов, а также в оценке его эффективности и применимости в строительной отрасли.

«Искусственный интеллект (ИИ) – это комплекс технологических решений, позволяющий компьютерам и машинам имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать результат при выполнении конкретных задач и проблем» [2].

Планирование строительных проектов заключается в выборе стратегии и распределении времени и ресурсов, необходимых для достижения желаемых целей на основе доступных ресурсов. Контроль – это мониторинг хода выполнения работ, сравнение фактических показателей с плановыми [3]. Сейчас значительное большинство строительных предприятий для осуществления планирования и контроля используют методы ручной обработки данных на основе календарно-сетевых графиков – метод критического пути, метод оценки и пересмотра программ и др. Данные методы подразумевают тесное взаимодействие между участниками проекта и результат подвержен воздействию человеческого фактора [4].

Внедрение технологий ИИ позволит анализировать большие объемы данных, отслеживать использование и местоположение оборудования и ресурсов, создавать и классифицировать элементы

информационной модели объекта, оценивать риски, распределять финансы, формировать календарный график выполнения работ, вносить в него изменения и автоматически сравнивать его с фактической реализацией проекта [5, 6].

Для получения результата ИИ использует широкий спектр данных из множества различных источников – информацию из среды общих данных (*IC, Bitrix24, Exxon, Autodesk Construction Cloud, Bim 360*); опыт прошлых проектов, записи камер видеонаблюдения и показатели IoT-датчиков [7, 8].

Данные обрабатываются алгоритмами ИИ, что позволяет осуществлять планирование и контроль без обязательного знания и применения программирования и открывают строительным компаниям возможность внедрения программного обеспечения с ИИ без увеличения штата сотрудников.

Таким образом, работа искусственного интеллекта основывается на анализе и обработке данных различных источников информации. Данные объединяются в единую систему, где ИИ с помощью алгоритмов обрабатывает их и выдает информацию. Структурированная модель представлена на рисунке ниже.



Структурированная модель работы ИИ

Согласно отчету *McKinsey*, использование цифровых технологий в строительстве может повысить производительность отрасли на 14 %, что подчеркивает значительный потенциал ИИ [9]. На сего-

дняшний день информационный рынок предлагает широкий спектр программ и программных комплексов для обеспечения планирования и контроля с использованием ИИ.

*Pragmacore* – это платформа для управления строительными проектами, разработанная в «Сколково». Производителем заявляется, что средняя экономия с использованием данной программы составит 8 % от сметы, что является весомым показателем для крупных инвестиционных проектов. Также объем простоев снизится с 10 % до 5 %. Платформа представляет собой комплекс сервисов, выполняющие различные функции: осуществление расчета сметной стоимости объекта, отображение статуса разработки документации, отслеживание поставок и автоматическое формирование графиков поставок. В случае нехватки персонала, учет которого также ведется в *Pragmacore*, платформа автоматически создает запрос на вакансию [10].

Вышеперечисленные функции *Pragmacore* осуществляют на основе информации, получаемой путем ручного ввода данных, компьютерного зрения или СКУД систем. Планирование и выполнение расчетов происходит с помощью предиктивной аналитики на основе *Big Data*.

По заявлению разработчика внедрение программы осуществляется за 7 дней.

*QMonitoring* – облачная платформа, представляющая собой аналитическую систему, работа которой основана на алгоритмах ИИ и компьютерном зрении. Применяется для осуществления контроля и предоставления аналитики строительных работ. Разработчик заявляет, что внедрение данной системы позволит сократить на 30 % расходы на строительный контроль и на 60 % расходы на простой строительной техники. Применяя видеоаналитику, данная платформа может осуществлять: мониторинг выработки и продуктивности сотрудников, а также соблюдение ими техники безопасности, автоматически отслеживать время работы и предупреждать о простое строительной техники, отслеживать этапность выполнения работ, привязываясь к BIM модели объекта осуществлять прогнозирование и контроль строительства [11].

*MStroy* – российский программный комплекс, в виде онлайн-сервиса, дающий доступ ко всей информации о проекте из среды общих данных в структурированном виде. Основываясь на сведениях о доступности материалов, времени работы сотрудников и состоянии машин и механизмов, с помощью сервиса автоматически создаются отчеты и дашборды. Комплекс располагает собственной базой данных, с привязкой информации из СОД. Каждый элемент данных классифицируется и для них создается система индикаторов для выявления рисков и критических отклонений. *MStroy* располагает системой ИИ, которая с помощью предиктивной аналитики и имеющихся данных из СОД автоматически производит обработку и выдачу плановой информации по нынешнему проекту [12].

Вход в сервис поддерживается на любом устройстве (компьютеры, мобильные устройства) и программном обеспечении (*iOS*, *Android*, *Windows*, *Linux* и т. д.), время на внедрение комплекса до 20 дней.

*Constru* – это израильская цифровая платформа, которая помогает автоматически осуществлять контроль и оптимизировать строительные процессы. По заявлению разработчиков, использование этой технологии позволит добиться значительного улучшения показателей эффективности проекта: снизить простоя с 10 % до 5 %, повысить эффективность выполнения проекта до 30 %, уменьшить количество непредвиденных работ на 20 %, а также добиться экономии времени и затрат на 50 %. Кроме того, *Constru* обещает снижение перерасхода бюджета на 15 % и сокращение непликвидов с 5 % до 1,2 %.

Платформа дает в режиме реального времени отслеживать процент выполнения строительных работ и автоматически формировать таблицы хода выполнения. При помощи алгоритмов, система ведет автоматическое сопоставление текущего процесса с диаграммой Ганта, своевременно выявляя отклонения от запланированного графика. Раз в неделю она подгружает отчеты в виде изображений с 360° обзором, на котором с помощью компьютерного зрения отмечает дефекты и отклонения от проекта, на аналитическом сравнении с BIM моделью объекта [13].

Каждая из рассмотренных платформ представляет собой инструмент цифровой трансформации строительной отрасли, но имеют различные уклоны в функционале, разные источники и форму данных, разные способы представления итоговой информации. Некоторые решения представляют собой единую программу, другие – комплекс программ, взаимодействующих между собой. Вариативность обуславливается индивидуальными запросами пользователей.

Так, *QMonitoring* ориентирован на отслеживание текущих строительных процессов, таких как производительность персонала и хода выполнения работ. Однако, она не поддерживает автоматическое планирование последующих задач и распределение ресурсов.

*Pragmacore* отвечает запросам на планирование и логистику, предоставляя функции расчёта сметной стоимости, отслеживания документации и поставок, а также автоматического формирования графиков, но при этом не обеспечивает функционала для мониторинга фактического хода работ и автоматического выявления отклонений от графика.

*Constru* сочетает в себе функции и планирования, и контроля, обеспечивая как оперативный контроль, так и интеграцию с финансовыми и плановыми инструментами.

*MStroy* выступает как сервис, объединяющий структурированную информацию из среды общих данных, и применяет функции предиктивной аналитики. Её сильной стороной является доступность с любого устройства и поддержка различных ОС, однако, как и в случае с *QMonitoring*, *MStroy*, преимущественно выполняет роль аналитической платформы, не влияя напрямую на планирование и контроль.

Безусловно, теория применения ИИ в строительстве обещает нам значительные улучшения в управлении проектом. В данный момент представленный в статье перечень инструментов цифровизации проходит апробацию, и действительную степень эффективности по сравнению с традиционным методом от их внедрения в процесс планирования и контроля сроков строительного проекта можно будет оценить только со временем.

## **Литература**

1. Бовтев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов / С. В. Бовтев // Управление проектами: идеи, ценности, решения. Материалы I Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 188–194.
2. ГОСТ Р 59895–2021. Технологии искусственного интеллекта в образовании. Общие положения и терминология : дата введения от 01.03.2022 № 59895–2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181910/titles/65A0IQ/>
3. Project Management Practices in Construction Projects and Their Roles in Achieving Sustainability: A Comprehensive Review / Fakhar Hassan Shah, Omer Shujjat Bhatti, Shehryar Ahmed // Engineering Proceedings. – 2023. – Vol. 44. – P. 2. – DOI: 10.3390/engproc2023044002.
4. Бовтев С. В. Осуществление контроля строительных проектов на основе современного программного обеспечения / С. В. Бовтев // Мир строительства и недвижимости. – 2004. – № 5, 6. – С. 18–19, 44–45.
5. Колчин В. Н. Специфика применения технологий «искусственного интеллекта» в строительстве // Инновации и инвестиции. 2022. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve/> (дата обращения: 07.03.2025).
6. ИМПульс – платформа для автоматической классификации данных // URL: <https://impulse.spbstu.ru/> (дата обращения: 11.03.2025).
7. Анализ применения технологий искусственного интеллекта в проектировании и строительстве // Национальный портал AI.GOV.RU. URL: [ai.gov.ru/knowledgebase/vnedrenieii/2024\\_proektirovaniye\\_i\\_stroitelystvo\\_s\\_primeneniem\\_iskusstvennogo\\_intellekta\\_analiz\\_processov\\_i\\_rynskae\\_ntsentr\\_iskusstvennogo\\_intellekta\\_v\\_stroitelystve](https://ai.gov.ru/knowledgebase/vnedrenieii/2024_proektirovaniye_i_stroitelystvo_s_primeneniem_iskusstvennogo_intellekta_analiz_processov_i_rynskae_ntsentr_iskusstvennogo_intellekta_v_stroitelystve) (дата обращения: 11.03.2025).
8. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges / Abioye S. O., Oyedele L. O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J. M. D., Bilal M., Olugbenga O. A., Ahmed A. // Journal of Building Engineering – 2021. – V. 44. – Art. 103299. – DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103299.
9. McKinsey: тенденции и советы экспертов по внедрению инноваций в строительстве // SodisLab URL: <https://www.sodislab.com/ru/blog/mckinsey-digital-construction/> (дата обращения: 25.03.2025).
10. Сервис Pragmacore // Pragmacore URL: <https://pragma.info/> (дата обращения: 20.03.2025).
11. ИИ в строительных процессах // QMonitoring URL: <https://qmonitoring.ru/> (дата обращения: 20.03.2025).
12. Цифровое управление строительством // Mstroy URL: <https://mstroy.tech/> (дата обращения: 20.03.2025).
13. AI-powered construction solution // Constru URL: <https://constru.ai/> (дата обращения: 22.03.2025).

**УДК 658.5:624.05**

Ольга Алексеевна Лебедева,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: kudinovaolya97@mail.ru*

*Olga Alekseevna Lebedeva,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: kudinovaolya97@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

### **APPLICATION OF 4D MODELING TECHNOLOGY IN THE FIELD OF NUCLEAR ENERGY**

Настоящая статья посвящена исследованию применения технологии 4D-моделирования в процессе организации строительства объектов атомной энергетики. В работе рассматриваются современные возможности 4D-моделирования, позволяющие интегрировать временные аспекты в трехмерные модели проектов, что существенно повышает эффективность управления строительными процессами. Проведен аналитический обзор существующего программного обеспечения (далее – ПО), применяемый для реализации 4D-моделирования в атомной энергетике. Особое внимание уделяется функциональным требованиям к их ПО, необходимым для их эффективного использования в практике строительства, что позволяет обеспечить надлежащую координацию, снижение рисков и оптимизацию временных затрат.

*Ключевые слова:* 4D-моделирование, объекты атомной энергетики, технология информационного моделирования, ТИМ.

This article is devoted to the study of the application of 4D modeling technology in the process of organizing the construction of nuclear power facilities. The paper considers modern 4D modeling capabilities that allow integrating time aspects into three-dimensional project models, which significantly increases the efficiency of construction process management. An analytical review of the existing software (hereinafter referred to as the software) used to implement 4D modeling in the nuclear power industry has been conducted. Special attention is paid to the functional requirements for their software, which are necessary for their effective use in construction practice, which allows for proper coordination, risk reduction and optimization of time costs.

*Keywords:* 4D modeling, nuclear power facilities, information modeling technology, BIM.

## **Введение**

Проектирование строительного объекта в области атомной энергетике является фундаментальным этапом в строительстве, поскольку от качества проектных решений зависит много факторов, включая безопасность, стоимость и сроки выполнения работ. На этапе строительства важно учитывать не только архитектурные и инженерные аспекты, но и такие факторы, как экологические требования, энергоэффективность, а также соответствие современным технологиям и строительным нормам.

Также стоит отметить значимость междисциплинарного подхода, где архитекторы, инженеры, строители и другие специалисты работают в тесном взаимодействии. Это помогает создать более целостное представление о проекте и обеспечивает всестороннее решение проблем.

Постоянная связь с нормативными документами и адаптация к современным технологиям требуют внимательности и готовности к обновлениям, что тоже является частью эффективного проектирования.

Навыки работы с технологиями информационного моделирования (далее – ТИМ) становятся необходимыми для успешного введения проектов на высоком уровне. Это обеспечивает не только визуализацию, но и интеграцию всех данных, что делает процесс более эффективным и предсказуемым.

Одно из многообещающих направлений в области ТИМ – 4D-моделирование. Эта технология, которая добавляет временной аспект к 3D-моделям объекта. Она носит ряд преимуществ:

1. Планирование и управление временем.

Позволяет создавать графики выполнения работ, что позволяет лучше управлять строительными процессами.

2. Визуализация процесса строительства.

Благодаря 4D-моделям объекта можно наглядно демонстрировать развитие проекта на протяжение всего срока строительства. Это помогает всем участникам проекта лучше понять последовательность работ и выявить потенциальные проблемы заранее.

3. Улучшение координации.

Технология способствует лучшей координации между различными участниками проекта, так как все могут видеть, как их работа вписывается в общий график.

4. Выявление рисков.

Возможность визуализировать проект во времени позволяет выявить потенциальные риски и проблемы, что способствует повышению безопасности на строительной площадке.

5. Оптимизация ресурсов.

Эффективное распределение ресурсов (рабочая сила и материалы) приводит к снижению затрат и повышению общей эффективности проекта.

6. Поддержка принятий решений.

Наглядные временные модели помогают принимать более обоснованные решения, так как можно увидеть, как изменения в проекте повлияют на сроки и бюджет.

4D-моделирование является важным инструментом для повышения эффективности и качества строительных процессов, что делает его особенно актуальным в условиях современного строительства.

На данный момент строительство объектов атомной энергетики активно развивается в связи с ростом потребления электроэнергии, повышением требований к безопасности, а также увеличения конкурентоспособности. Применение ТИМ активно развивается в данной области, что позволяет эффективно управлять данными, оптимизировать затраты, ускорить сроки строительства, адаптироваться к изменениям, планировать эксплуатацию, а также снизить ошибки при строительстве (рис. 1).

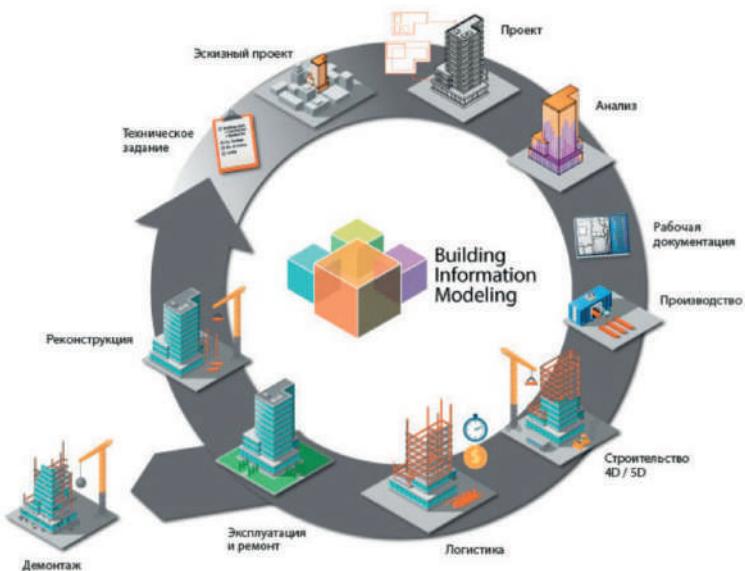


Рис. 1. Возможности технологии информационного моделирования

### Multi-D

Госкорпорацией «Росатом» была разработана собственная система Multi-D объединения всех элементов, которая выделяется своей способностью к комплексному моделированию, охватывающему не только сам строительный процесс, но и связанные с ним технологические решения. Технология Multi-D направлена на оптимизацию строительно-монтажных работ (далее – СМР) через детальное планирование последовательности рабочих операций. Основная цель данной технологии – сокращения сроков строительства промышленных объектов атомной энергетики. Применение Multi-D позволяет точно спланировать график строительства и решать проблемы на стадии проектирования, связанные с различными этапами строительства [1].

Multi-D дополняет традиционный экспертно-директивный подход к планированию СМР, который основывается на экспертных оценках длительности каждого этапа. Эта технология включает

в себя полноценную трехмерную модель объекта (3D), данные о календарно-сетевом планировании (4D), информацию о конфигурации и поставках материалов и оборудования (5D), а также сведения о трудовых, технических и других ресурсах, необходимых для сооружения энергоблока (6D) [2].

Сейчас линейка цифровых продуктов этой системы состоит из: Multi-D Unified Time Schedule, Multi-D IMS, Multi-D Project, Multi-D Docs&Resources, Multi-D Enterprise Service Bus.

Multi-D Unified Time Schedule – объединенный график, который представляет собой аналитическую систему, способную интегрировать и сравнить неограниченное количество графиков, созданных в различных системах календарного планирования, а также фиксировать окончательные сроки завершения проектов. Эта система предоставляет возможность гибкой настройки правил связывания отдельных графиков, которые могут исходить от множества подрядчиков, представляющих разные области работ, и устанавливать правила для выявления конфликтов (рис. 2).

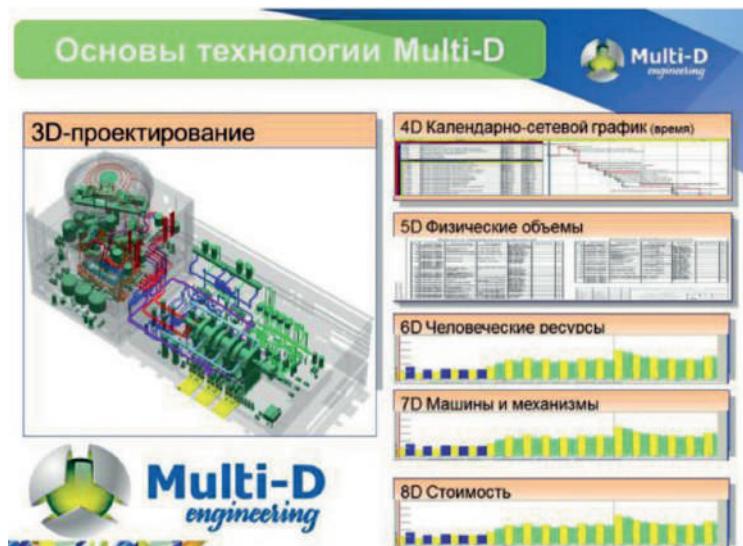


Рис. 2. Технология Multi-D

## **Autodesk Navisworks**

Недавно организации, которые занимаются строительством атомных электростанций перешли на новое ПО – Autodesk Navisworks.

Autodesk Navisworks представляет собой интегрированное программное обеспечение, предназначенное для проверки и координации архитектурно-строительных проектов на основе технологий информационного моделирования зданий (ТИМ). Это решение позволяет объединять разрозненные трехмерные модели, созданные разными участниками проектной деятельности, и обеспечивает создание единой, координированной модели, что является критически важным для эффективного управления сложными строительными проектами [3].

Основные компоненты семейства Autodesk Navisworks:

### **1. Navisworks Manage:**

Это комплексное решение для оценки проектных данных, моделирования и координации различных дисциплин. Navisworks Manage предоставляет возможность компоновки информации, полученной от специалистов в различных областях, в одну интегрированную модель. Данная функция позволяет проводить детальный анализ на предмет пересечений и коллизий, тем самым предотвращая потенциальные строительные ошибки.

### **2. Navisworks Simulate:**

Программное обеспечение ориентировано на создание комплексных 4D-симуляций, позволяя визуализировать проект на различных этапах его жизненного цикла. Инструменты анимации и генерации фотorealистичных изображений помогают в интерпретации проектных замыслов, обеспечивая высокий уровень точности при планировании и прогнозировании.

### **3. Navisworks Freedom:**

Это бесплатный просмотрщик, который поддерживает форматы NWD и 3D DWF. Navisworks Freedom упрощает обмен данными между всеми участниками проектирования, что критически важно для повышения уровня эффективности коммуникации и совместной работы, включая взаимодействие с заказчиками.

## Применение в проектировании атомных электростанций (АЭС)

Использование Autodesk Navisworks в контексте проектирования и верификации 3D-моделей АЭС подчеркивает значимость софта для сложных инженерных задач (рис. 3). В 2021 году были проведены образовательные мероприятия в компании «Атомэнергопроект», на которых рассматривались основы работы с программным обеспечением, включая анализ 3D-моделей и взаимодействие группы контроля качества с разработчиками. Программа обучения охватывала также требования заказчиков к информационным моделям и методы формирования моделей [4].

В результате применения Autodesk Navisworks проектировщики и инженеры имеют возможность заранее идентифицировать и устранять конфликты в проекте, что способствует повышению качества и безопасности будущих строительных объектов [4].

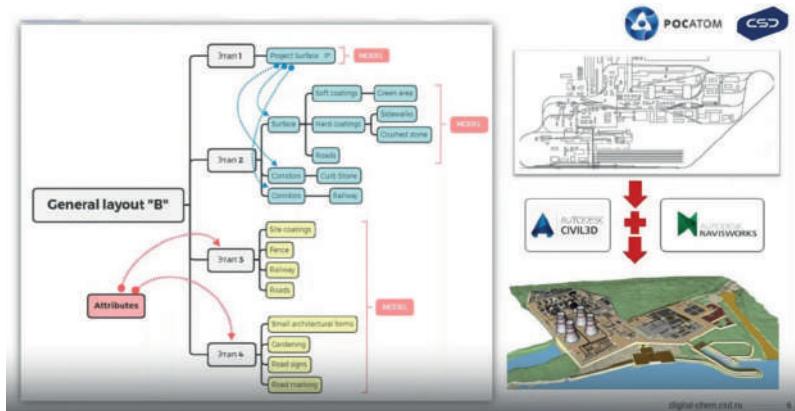


Рис. 3. Концепция поэтапной разработки модели генерального плана АЭС

### 7D Modeler

Ввиду введенных санкций переход на отечественные программные продукты в строительной отрасли приобретает особую актуальность. Исследования показывают, что 7D Modeler, впервые выпущенный в октябре 2022 года, является наиболее функционально близким

аналогом зарубежного программного обеспечения 4D-моделирования SYNCHRO Pro.

7D Modeler представляет собой высокоеффективное программное обеспечение, предназначенное для решения задач в сферах гражданского, промышленного и инфраструктурного строительства. Данная система реализует концепцию 7D-моделирования, что позволяет объединять и интегрировать данные о геометрии объектов, календарных планах, ресурсах, сметных расчетах и сопутствующей документации в единую информационную модель [5–6].

К основным функциям 7D Modeler можно отнести:

- Моделирование временных и пространственных аспектов (4D), что позволяет анализировать последовательность и продолжительность строительных операций.
- Управление ресурсами и затратами, что обеспечивает эффективное распределение и учет материальных и трудовых ресурсов.
- Контроль за графиками работ, что позволяет отслеживать текущий статус выполнения проектов и их соответствие запланированным срокам.
- Превентивное предотвращение коллизий, что способствует оптимизации проектных решений и минимизации ошибок на этапе реализации.
- Управление финансовыми данными, позволяющее проводить анализ бюджета и финансовых потоков в рамках проектирования и реализации.

Программный продукт основан на принципах OpenBIM, что обеспечивает высокую степень совместимости с другими программными решениями через использование формата IFC (Industry Foundation Classes), поддерживающего обмен данными между различными платформами для построения информационных моделей зданий [5].

### **Заключение**

Технологии 4D-моделирования в области атомной энергетики представляют собой перспективное направление, способствующее повышению эффективности проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Применение 4D-моделирования позволяет

интегрировать временные аспекты в традиционные трехмерные модели, что оказывает значительное влияние на управление проектами.

Во-первых, 4D-моделирование обеспечивает более точное планирование временных графиков работ, что позволяет минимизировать задержки и перерасходы, а также оптимизировать использование ресурсов. Во-вторых, возможность визуализации хода строительства в сочетании с временными данными способствует более эффективному управлению рисками и предотвращению коллизий, что является особенно важным для объектов с высокими требованиями к безопасности, как в атомной энергетике.

Кроме того, использование 4D-моделирования способствует повышению прозрачности процессов и улучшению координации между различными участниками проектов, включая проектировщиков, строительные компании и заказчиков. Это, в свою очередь, повышает уровень сотрудничества и способствует более эффективному обмену данными.

Наконец, учитывая необходимость соблюдения строгих норм и стандартов безопасности и охраны окружающей среды в атомной энергетике, 4D-моделирование предоставляет мощные инструменты для анализа различных сценариев и оценки воздействия проектируемых решений. Таким образом, использование технологий 4D-моделирования в атомной энергетике не только повышает качество и безопасность проектов, но и является важным шагом на пути к более устойчивому и эффективному развитию этой высокотехнологичной отрасли.

### **Литература**

1. Алабин А. В. Проблемы применения информационного моделирования при проектировании объектов энергетики. – Москва, 2017. – С. 7–11.
2. Иванова Е. А. Применение технологий информационного моделирования при проектировании объектов использования атомной энергии. – Москва, 2020. – С. 677–683.
3. Кривошейцева Е. А., Корницкая М. Н. 4D-моделирование зданий с использованием Autodesk Navisworks. – Барнаул, 2022. – С. 94–96.
4. Rutube-канал CSD. URL: <https://rutube.ru/channel/41674007/> (дата обращения: 10.03.2025).

5. Дорофеева В. В. Перспективы развития 4D-моделирования в России. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 312–317.
6. Арматенко А. Е., Бовтев С. В., Мартыновский А. М. Анализ процесса программного обеспечения 4D-моделирования. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 161–167.
7. Бовтев С. В. Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства / С. В. Бовтев // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 81–87.
8. Бовтев С. В. Практика применения 4D-моделирования в строительстве // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 77–84.
9. Бовтев С. В. Применение 4D-моделей в строительстве // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы IV Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрГАХУ, 2021. С. 32.
10. Петровский М., Бовтев С. В. Применение 4D-моделирования при организации строительства промышленных зданий / Наукоёмкие технологии и инновации (XXV научные чтения) : сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. : Белгород : БГТУ, 2023. – С. 701–704.

**УДК 656**

Диана Игоревна Лодочникова,  
студент  
Ольга Геннадьевна Ступакова,  
ст. преподаватель  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: lodochnikova.di@mail.ru,  
Olgan\_70@mail.ru

Diana Igorevna Lodochnikova,  
student  
Olga Gennadievna Stupakova,  
senior lecturer  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: lodochnikova.di@mail.ru,  
Olgan\_70@mail.ru

**ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ  
«БЕРЕЖЛИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»  
В ПРОЦЕССЫ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES  
OF «LEAN CONSTRUCTION» IN CALENDAR  
PLANNING PROCESSES**

В статье исследуется внедрение принципов Бережливого строительства (Lean Construction) и метода Вытягивающего планирования (Last Planner System, LPS) в процессы календарного планирования строительных проектов в России. Подчеркивается критическая роль LPS в минимизации потерь (простои, переделки, неоптимальная логистика) и повышении надежности графиков за счет перехода от «проталкивающего» к «вытягивающему» планированию, основанному на реальных возможностях исполнителей и синхронизации участников. Детально описывается механизм работы LPS, включая уровни стратегического, тактического, оперативного (Lookahead) и недельного планирования, а также ключевой показатель эффективности – Процент Планового Выполнения (PPC). Анализируется специфика применения метода в российских условиях: обобщается опыт компаний («Автодор», «Газпром», ведущие девелоперы), выявляются барьеры (менталитет управления, контрактные отношения, нехватка кадров, сложности интеграции с ПО) и потенциал использования существующей нормативной базы. Обосновываются рекомендации для успешной адаптации LPS: лидерство руководства, пилотные проекты, обучение персонала, выстраивание доверительных отношений с субподрядчиками и визуализация процессов.

*Ключевые слова:* Бережливое строительство, Last Planner System, вытягивающее планирование, календарное планирование, надежность графиков, минимизация потерь, строительные проекты, российская практика, Lean Construction.

The article examines the implementation of the principles of Lean Construction and the Last Planner System (LPS) method in the calendar planning processes of construction projects in Russia. The critical role of LPS in minimizing losses (downtime, alterations, suboptimal logistics) and increasing the reliability of schedules is emphasized due to the transition from «push» to «pull» planning based on the real capabilities of performers and synchronization of participants. The mechanism of LPS operation is described in detail, including levels of strategic, tactical, operational (Lookahead) and weekly planning, as well as a key performance indicator – the Percentage of Planned Completion (PPC). The specifics of the method's application in Russian conditions are analyzed: the experience of companies (Avtodor, Gazprom, leading developers) is summarized, barriers are identified (management mentality, contractual relations under Federal Laws No. 44-FZ and No. 223-FZ, staff shortages, difficulties software integration) and the potential for using the existing regulatory framework. The recommendations for successful LPS adaptation are substantiated: leadership of management, pilot projects, staff training, building trusting relationships with subcontractors and visualization of processes.

*Keywords:* Lean Construction, Last Planner System, pull-out planning, calendar planning, reliability of schedules, minimization of losses, construction projects, Russian practice, Lean Construction.

Российская строительная отрасль, несмотря на масштабные проекты, продолжает сталкиваться с хроническими проблемами: срыва сроков, превышение смет, конфликты, простой ресурсов и низкое качество [1]. Традиционные методы календарного планирования, основанные на детерминированных сетевых графиках, разрабатываемых «сверху вниз» и часто в отрыве от реальных возможностей исполнителей, зачастую усугубляют эти проблемы, превращаясь в формальные документы, не отражающие реальность и не управляющие потоком создания ценности [2]. В этом контексте принципы Бережливого строительства (Lean Construction) и метод Вытягивающего планирования (Last Planner System – LPS) предлагают революционный подход к повышению надежности планирования и минимизации потерь времени, ресурсов и средств [3]. Философия Lean, адаптированная из производственной системы Toyota для строительства, нацелена на максимизацию ценности для заказчика при минимизации всех видов потерь (muda), таких как перепроизводство, ожидание, транспортировка, излишняя обработка, избыточные запасы, лишние перемещения и дефекты [4]. Календарное

планирование в парадигме Lean становится коллективным процессом, вовлекающим всех участников, с фокусом на обеспечении надежности потока работ и выполнении обязательств, а не только на формальном соблюдении сроков [2, 3].

Теоретические основы и механизм работы метода Вытягивающего планирования (LPS):

Last Planner System (LPS), разработанный Гленном Баллардом и Грэгом Хаузеллом [2], является ключевым инструментом Lean Construction для реализации принципов бережливости в планировании. В отличие от традиционного «проталкивающего» планирования, где план навязывается исполнителям сверху, LPS реализует принцип «вытягивания»: работы планируются и выполняются только тогда, когда есть реальная потребность и готовность следующего участника процесса их принять [2, 10, 13]. Система функционирует на нескольких взаимосвязанных уровнях планирования. Стратегическое планирование (Фазирование) определяет ключевые вехи и этапы проекта, обеспечивая связь с традиционным сетевым графиком. Тактическое планирование (Этапное) детализирует этап проекта на 3–6 месяцев, определяя ключевые операции, их последовательность и логические связи, с особым фокусом на выявлении и устранении препятствий (Constraints) для выполнения работ (отсутствие ПСД, лицензий, материалов) на ранней стадии [1, 2]. Оперативное планирование (Lookahead Planning) охватывает период 2–8 недель вперед и служит «буферной» зоной для проверки задач на выполнимость (Make-Ready Process) [2]. Задачи анализируются по критериям: определенность (четкость описания), последовательность (наличие предшествующих задач), размер (оптимальность объема), наличие ресурсов (рабочие, материалы, оборудование, информация) и полномочия (разрешение на начало). Задачи, не прошедшие проверку, не переходят в недельный план [2, 10].

Сердцем LPS является Недельное планирование (Weekly Work Planning) – совместное составление обязательных планов работ на предстоящую неделю с участием мастеров, прорабов и ключевых субподрядчиков [2, 3, 13]. Каждый «Последний Планировщик» (непосредственный руководитель работ) берет на себя конкретные

обязательства (Promises) только по тем задачам, в выполнении которых он уверен на 100 %, основываясь на задачах, прошедших проверку в Lookahead [2]. Ключевой принцип здесь – обещать можно только то, что гарантированно выполнимо. Ежедневный контроль (Daily Huddle) включает короткие совещания команды для отслеживания выполнения недельного плана, немедленного выявления проблем (недопоставка, отсутствие специалистов) и их оперативного решения силами присутствующих, фокусируясь на устраниении препятствий для выполнения обещаний [1, 10]. Основным показателем эффективности LPS является Процент Планового Выполнения (Percent Plan Complete – PPC), рассчитываемый как отношение количества выполненных задач к количеству, запланированных за период (день/неделя) [2, 13]. Анализ причин срыва невыполненных задач (анализ «5 почему») и постоянное совершенствование процессов направлены на повышение PPC. Стабильно высокий PPC (>85 %) свидетельствует о надежном потоке работ [2, 3, 10]. Преимущества LPS многообразны: повышение надежности графиков за счет реалистичности планов, сокращение простоев благодаря лучшей синхронизации, улучшение координации и коммуникации между участниками, снижение запасов материалов за счет подхода «точно в срок» (JIT), сокращение общих сроков проекта, повышение предсказуемости для заказчика, улучшение качества работ за счет снижения спешки и переделок, рост вовлеченности и ответственности исполнителей [2, 10, 13].

Опыт внедрения и специфика применения LPS в российских реалиях:

Прямое упоминание «Бережливого строительства» или «Вытягивающего планирования» в основных российских строительных нормах (СП, СНиП) пока отсутствует. Однако принципы и требования многих действующих документовозвучны идеям Lean и могут служить основой для внедрения LPS [3, 5, 9]. СП 48.13330.2019 «Организация строительства» требует разработки ПОС и ППР с календарными планами, увязки технологических процессов, обеспечения ресурсами и контроля [5]. LPS предоставляет практические инструменты для реализации этих требований на оперативном уровне.

ГОСТ Р 57350–2016 / ISO 21500:2012 «Руководство по проектному менеджменту» устанавливает принципы управления сроками, включая разработку и контроль расписания [9]. LPS является эффективным методом реализации этих процессов с акцентом на надежность и вовлечение. ГОСТ Р 57593-2017 по информационному моделированию (BIM) подчеркивает принципы колаборации и четкого определения требований, что полностью соответствует философии Lean; BIM-модель может быть мощным инструментом поддержки Lookahead планирования LPS [5]. Требования ФЗ № 44-ФЗ и ФЗ № 223-ФЗ к срокам исполнения контрактов также создают стимул для внедрения надежных методов планирования, таких как LPS, для снижения рисков срывов и штрафов [14, 15].

Внедрение Lean Construction и LPS в России началось позже, чем на Западе, и носит пока точечный, преимущественно пилотный характер, часто инициированный крупными компаниями или на проектах с международным участием [1, 7, 8]. Крупные госкомпании и корпорации («Газпром», «Росатом», «РЖД») используют элементы Lean, включая LPS, на отдельных крупных инфраструктурных и промышленных проектах, акцентируя внимание на повышении управляемости и снижении сроков/стоимости, часто с привлечением консультантов [1, 7]. АО «Автодор» является одним из наиболее активных пропагандистов Lean в российской инфраструктуре, реализуя пилотные проекты по внедрению LPS на строительстве и реконструкции автодорог [8]. Опыт показал снижение сроков на 10–15 % за счет устранения простоев и лучшей координации, а также улучшение взаимодействия между генподрядчиком и субподрядчиками [8].

Ведущие девелоперы («ПИК», «Самолет», «Эталон», «Крост») активно экспериментируют с Lean, видя в нем инструмент сокращения сроков выхода на рынок и повышения качества [1, 7]. LPS внедряется на этапах отделки и инженерных систем, где координация множества субподрядчиков критична, что привело к повышению надежности графика отделочных работ на 20–30 % (рост PPC), снижению количества «горящих» задач и улучшению качества [1, 7]. Заводы международных корпораций часто требуют

применения Lean-подходов, включая LPS, от своих строительных подрядчиков в России [1].

Внедрение LPS в России сталкивается со специфическими вызовами. Менталитет и культура управления, часто авторитарные и иерархические, противоречат принципам партнерства, доверия и делегирования ответственности, требуемым LPS, вызывая сопротивление среднего звена менеджмента [1, 7]. Антагонистические отношения «Заказчик – Подрядчик – Субподрядчик», основанные на недоверии, затрудняют открытость и совместное решение проблем, необходимые для LPS; жесткие условия контрактов (ФЗ-44, ФЗ-223) могут препятствовать честному обсуждению трудностей [1, 7, 14, 15]. Низкая дисциплина исполнения и ответственность, традиция «договариваться на месте» подрывают принцип обязательности недельных планов и точности РРС [7]. Ощущается острая нехватка квалифицированных кадров (координаторов LPS, фасилитаторов), глубоко понимающих философию Lean и методику проведения совещаний, требующая массового обучения [1, 7]. Существует сложность интеграции гибкого, визуального метода LPS с требованиями жесткой отчетности в традиционных программах календарного планирования (MS Project, Primavera); хотя появляются цифровые решения для LPS (KanBo, Vueri), их внедрение требует инвестиций [6, 1]. Отсутствие прямой нормативной поддержки Lean требует «вписывания» его процедур в рамки существующих СП и ГОСТ, что иногда вызывает вопросы у контролирующих органов [5, 6, 9].

Перспективы и рекомендации для российского строительного комплекса:

Внедрение принципов Бережливого строительства и метода Вытягивающего планирования (Last Planner System) в процессы календарного планирования представляет собой насущную необходимость для повышения эффективности, конкурентоспособности и предсказуемости российской строительной отрасли [1, 4, 13]. Несмотря на существующие культурные, организационные и нормативные барьеры, опыт пилотных проектов в России убедительно доказывает жизнеспособность и высокую эффективность подхода [1, 7, 8]. LPS позволяет перейти от формальных, часто нереалистичных

графиков к надежным, исполняемым планам, создаваемым совместно всеми участниками процесса, что ведет к значительному сокращению потерь времени, ресурсов и средств, улучшению качества и снижению стресса на площадке [2, 3, 10, 13].

Для успешного внедрения LPS в российских условиях критически важно осознанное лидерство и приверженность руководства компании, готового выделять ресурсы и демонстрировать свою веру в философию Lean [1, 4]. Рекомендуется начинать с пилотного проекта на управляемом объекте или этапе, сфокусировавшись на получении быстрых позитивных результатов для демонстрации эффективности [2, 10]. Необходимы значительные инвестиции в обучение *всех* уровней вовлеченного персонала – от топ-менеджмента до мастеров и бригадиров субподрядчиков, с объяснением не только «Как?», но и «Почему?» [1, 7]. Привлечение опытных Lean-консультантов или коучей на этапе запуска и сопровождения пилота помогает избежать типичных ошибок и ускорить процесс [10]. Ключевым фактором является адаптация инструментов LPS (форматы встреч, визуализация, глубина детализации) под российский менталитет, специфику проекта и существующие системы управления, а не слепое копирование западных практик [1, 7]. Сознательное выстраивание доверительных, партнерских отношений с ключевыми субподрядчиками и их вовлечение в процесс планирования с самого начала значительно повышает шансы на успех [1, 2]. Внедрение Lean – это долгосрочный процесс постоянного совершенствования (Kaizen), требующий терпения и последовательности; начинать следует с базовых практик (недельное планирование, PPC), постепенно добавляя Lookahead, Make-Ready, фазирование [2, 3, 10]. Использование простых визуальных инструментов (физические или цифровые доски) обеспечивает прозрачность и понятность. Исследование возможностей интеграции LPS с BIM-моделями для визуализации задач и проверки выполнимости, а также с цифровыми двойниками для мониторинга прогресса, открывает перспективы для дальнейшего повышения эффективности [6, 12].

Хотя прямая нормативная база под Lean Construction в РФ продолжает формироваться, существующие документы (СП 48.13330 [5],

ГОСТ Р 57350 [9], ГОСТ Р 57593 [6]) создают достаточные предпосылки для внедрения LPS как лучшей практики повышения надежности планирования и управления проектом. Будущее эффективного календарного планирования в России неразрывно связано с философией бережливости и коллaborации, воплощенной в методе Вытягивающего планирования [1, 2, 4].

### Литература

1. Голубев А. А., Лапидус В. А. Бережливое строительство: теория и практика применения в России. – М. : ACB, 2020.
2. Ballard G. (2000). The Last Planner System of Production Control [Система «Последний Планировщик» для управления производством]. PhD Thesis, University of Birmingham, UK. (Диссертация на соискание степени доктора философии, Бирмингемский университет, Великобритания).
3. Koskela L. (1992). Application of the New Production Philosophy to Construction [Применение новой производственной философии в строительстве]. Technical Report № 72, CIFE, Stanford University. (Технический отчет № 72, Центр интегрированных проектных систем (CIFE), Стэнфордский университет).
4. Womack J. P., Jones D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation [Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании]. – Free Press.
5. СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004. – М. : Минстрой России, 2019. (Свод правил).
6. ГОСТ Р 57593–2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена информацией между участниками инвестиционно-строительного проекта. – М. : Стандартинформ, 2017.
7. Лапидус В. А. (2018). Last Planner System: практика применения в России // Журнал «Строительная орбита», № 5(127). – С. 34–39.
8. Отчет о пилотном проекте внедрения LPS в АО «Автодор» (2021) // Внутренние материалы АО «Автодор» (Обобщено из открытых презентаций).
9. ГОСТ Р 57350–2016 / ISO 21500:2012. Руководство по проектному менеджменту. – М. : Стандартинформ, 2016.
10. Forbes L. H., Ahmed S. M. (2010). Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices [Современное строительство: Бережливая реализация проектов и интегрированные подходы]. – CRC Press.
11. Материалы конференций по бережливому строительству в России (Lean Construction Russia) // [ru.iglc.net].
12. Rybkowski Z. K., Shepley M. M., Ballard G. (2012). Target Value Design: Applications to New Construction [Проектирование на основе целевой стоимости]

сти: Применение при новом строительстве]. – IGLC-20 (Труды 20-й Ежегодной конференции Международной группы по бережливому строительству).

13. *Salem O., Solomon J., Genaidy A., Minkarah I.* (2006). Lean Construction: From Theory to Implementation [Бережливое строительство: от теории к внедрению] // Journal of Management in Engineering, 22(4). – Р. 168–175. (Журнал «Инженерный менеджмент»).

14. Федеральный закон № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

15. *Бовтееев С. В.* / Методы и формы организации строительного производства : учебное пособие / С. В. Бовтееев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 221 с.

16. *Руденко А. А.* Алгоритмизация процесса обеспечения строительства материальными ресурсами в условиях неопределенности и риска / А. А. Руденко, Р. В. Мотылев. – Текст : электронный // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. – С. 34–40.

**УДК 658.513.4**

Диана Андраниковна Манукян,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* dm3129510@yandex.ru

*Diana Andranikovna Manukian,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* dm3129510@yandex.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМОТЕХНИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ**

### **USING SYSTEMS ENGINEERING TO INCREASE THE RELIABILITY OF WORK SCHEDULES**

В статье рассматривается связь системотехники и календарного планирования строительной отрасли. Основой анализа стала книга Гусакова А. А. «Системотехника строительства», в которой показаны основные принципы системотехники. Подчеркивается, что календарное планирование всегда являлось ключевым элементом системного подхода. Так же уделяется внимание изменению подходов к организационно-технологическому моделированию строительных процессов. Несмотря на большой прорыв в цифровых технологиях, идеи системотехники остаются актуальными и получают новое развитие благодаря инструментам информационного моделирования (BIM), которое дополняет принципы прошлого современными средствами анализа, визуализации и управления. Работа подчеркивает необходимость сохранения связи между фундаментальными теориями и современными цифровыми решениями.

*Ключевые слова:* системотехника, имитационное моделирование, строительство, управление проектами, BIM.

The article examines the relationship between systems engineering and scheduling in the construction industry. The analysis is based on A. A. Gusakov's book Systems Engineering of Construction, which presents the main principles of systems engineering. The author emphasizes that scheduling has always been a key element of the systems approach. The article also addresses changes in approaches to the organizational and technological modeling of construction processes. Despite major advances in digital technologies, the ideas of systems engineering remain relevant and are being further developed thanks to tools such as Building Information Modeling (BIM), which enhance past principles with modern means of analysis,

visualization, and management. The work highlights the importance of maintaining the connection between fundamental theories and contemporary digital solutions.

*Keywords:* system engineering, simulation modeling, construction, project management, BIM.

Имитационное моделирование используется для координации организаций и технологии выполнения строительных работ и имеет многолетнюю историю в российской инженерной школе. Одна из наиболее значимых работ в этой области стала книга Гусакова А. А. «Системотехника строительства» [1]. В ней предлагается системный подход к организации строительного производства, особенно заостряя внимание на необходимости моделирования логических и временных связей между всеми строительными процессами. Логико-временные модели были основой для принятия управлеченческих решений, корректировки графиков и оценки рисков, а идеи, описанные в книге, стали фундаментом для формирования моделей, которые позволяют планировать и координировать действия на каждом этапе развития и реализации строительного проекта.

Одним из ключевых элементов этой методологии является календарное планирование, которое рассматривается как инструмент представления логико-временных связей между элементами строительного процесса. Все операции и их продолжительности являются частью единой модели, что позволяет оптимизировать взаимодействие между участниками проекта.

Ранее, когда цифровые технологии находились на начальном этапе развития, Гусаков А. А. предложил методологию, где строительные процессы рассматривались как часть иерархической системы, которые поддаются моделированию и оптимизации, что, в том числе, помогало повысить надежность календарных графиков. Имитационные модели являлись инструментом исследования функционирования строительного производства как совокупности взаимодействующих подсистем: организационно-технологических, ресурсных, производственно-экономических и управлеченческих. Основными методами моделирования являлись укрупненность и ориентация на процессы, происходящие во времени, а инструментами являлись логико-временные схемы, которые позволяют

отражать порядок и взаимосвязь выполняемых работ на строительной площадке с учетом внешних факторов и методов выполнения.

В настоящее время цифровые технологии вышли на новый уровень и подходы к планированию строительства во многом развиваются идеи системотехники. Технологии информационного моделирования зданий BIM (Building Information Modeling), широко применяемые сегодня, реализуют принципы системного подхода: интеграция процессов, учет временных, пространственных и технологических параметров [2].

Особое развитие идеи системного календарного планирования получают в рамках 4D-моделирования, где в цифровую модель строительного объекта включен временной фактор. В трудах Гусакова А. А. подчеркивалась важность внедрения временных параметров в имитационные модели, так как это влияло на то, насколько слаженно и эффективно происходила реализация проекта на площадке [1]. Так же 4D-моделирование способствует более эффективному и точному построению календарных графиков за счет наглядного отображения этапов строительства во времени [3].

Актуальность системного подхода подтверждается и в методах управления строительными проектами. Комбинирование сетевого планирования с аналитическими инструментами рассматривается как возможность повышения точности, гибкости и устойчивости управления [4].

В современных условиях использование принципов системотехники возможно не только на стадии проектирования, но и в процессе строительства и эксплуатации объекта, где моделирование используется как основной инструмент управления процессами. При этом цифровой прогресс в строительной отрасли требует не только внедрения новых инструментов, но и сохранения логики системного анализа. Современные модели становятся все более сложными, что подчеркивает важность наличия логической структуры, четкой постановки задач, наличие квалифицированных специалистов и системного подхода при их создании, так как неправильно выстроенная модель может привести к ошибкам вправленческих решениях [5].

## **Заключение**

Таким образом, можно сделать вывод, что системотехника строительства, в частности календарное планирование, несмотря на большой цифровой прогресс, по-прежнему основывается на систематических основах. Устойчивость этих подходов во времени можно объяснить их универсальностью и способностью адаптироваться к прогрессирующим технологиям. Результаты проекта во многом зависят от логичности и последовательности планирования сроков работ, а также от адекватности отражения реальных процессов в цифровой модели.

## **Литература**

1. Гусаков А. А. Системотехника строительства. – М. : Высшая школа, 1993. – 239 с.
2. Козлов А. С., Петухов В. Г. Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) : учебное пособие. – М. : Ассоциация строительных вузов, 2020. – 192 с.
3. Бовтевев С. В. Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы III Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2020. – С. 81–87.
4. Бовтевев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов / С. В. Бовтевев // Управление проектами: идеи, ценности, решения. Материалы I Междунар. науч.-практ. конф., [Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 года]. – СПб. : СПбГАСУ, 2019. – С. 188–194.
5. Лисовский В. В. Цифровизация строительной отрасли: проблемы и решения. – СПб. : Политех-Пресс, 2020. – 144 с.

**УДК 624.007**

*Данила Максимович Марков,*  
студент  
*Роман Владимирович Мотылев,*  
канд. техн. наук, доцент,  
завкафедрой  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* danila.mrkov.1812@mail.ru,  
motylev@yandex.ru

*Danila Maksimovich Markov,*  
student  
*Roman Vladimirovich Motylev,*  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor,  
Head of Chair  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* danila.mrkov.1812@mail.ru,  
motylev@yandex.ru

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
НАДЕЖНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЫТА  
ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ**

**ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL  
RELIABILITY IN CONSTRUCTION: COMPARATIVE  
ANALYSIS OF EXPERIENCE OF LEADING SCIENTISTS**

В статье представлен обзор сущности организационно-технологической надежности (ОТН) в строительстве, этапов развития, ключевых факторов влияния и подходов к реализации. Изучается вклад ведущих ученых в создание нынешних представлений об ОТН, производится анализ основных направлений исследований и практических решений. Особое внимание удалено анализу взаимосвязи между ОТН и достижением целей строительных проектов (сроки, стоимость, качество, безопасность). Статья завершается выводами о необходимости комплексного подхода к обеспечению ОТН и обозначением перспективных направлений дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** организационно-технологическая надежность, строительство, управление рисками, моделирование, планирование, технологические процессы, управление проектами.

The article provides an overview of the essence of organizational and technological reliability (REL) in construction, stages of development, key factors of influence and approaches to implementation. The contribution of leading scientists to the creation of current ideas about REL is studied, the main research directions and practical solutions are analyzed. Special attention is paid to the analysis of the

relationship between REL and the achievement of the goals of construction projects (timing, cost, quality, safety). The article concludes with conclusions about the need for an integrated approach to ensuring REL and identifying promising areas for further research.

*Keywords:* organizational and technological reliability, construction, risk management, modeling, planning, technological processes, project management.

## **Введение**

Строительство является трудоемкой и сложной деятельностью, которая отличается высоким уровнем неопределенности и рисков. Высокий уровень реализации строительных проектов, отвечающих требованиям заказчика по срокам, стоимости, качеству и безопасности, напрямую зависит от организационно-технологической надежности (ОТН) [1]. ОТН рассматривается как основной фактор, определяющий эффективность строительной деятельности и устойчивость строительной отрасли.

В данной статье показан обзор существующих подходов к пониманию и обеспечению ОТН в строительстве, проанализирован вклад ученых в формирование современных представлений об ОТН, а также обозначены потенциальные направления дальнейших исследований.

### **1. Теоретические основы организационно-технологической надежности**

#### **1.1. Определение и сущность ОТН:**

Организационно-технологическая надежность (ОТН) строительного производства – это характеристика, отражающая его способность к стабильному и эффективному выполнению функций по возведению объектов в соответствии с нормативными требованиями, несмотря на влияние факторов неопределенности и внешних воздействий [2]. ОТН включает широкий спектр аспектов, в том числе

ОТН в строительстве – это совокупность характеристик, отражающих способность строительного производства надежно и эффективно выполнять задачи по возведению объектов, соответствующих установленным требованиям, даже в условиях неопределенности и влияния различных факторов. ОТН включает в себя множество аспектов, таких как:

- Устойчивость: способность строительного процесса сохранять свои характеристики при воздействии внешних факторов.
- Отказоустойчивость: способность строительного процесса сохранять работоспособность при возникновении сбоев и отклонений.
- Адаптивность: способность строительного процесса быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям.
- Безопасность: способность строительного процесса обеспечивать безопасность работников и окружающей среды.

### 1.2. Факторы, влияющие на ОТН:

На ОТН оказывают влияние следующие основные группы факторов [3]:

- Технологические факторы: надежность строительных материалов, конструкций и оборудования; применение прогрессивных технологий; квалификация персонала.
- Организационные факторы: качество планирования и организации работ; эффективность управления проектами; система управления качеством; взаимодействие участников проекта.
- Экономические факторы: финансирование; цены на ресурсы; инфляция.
- Внешние факторы: погодные условия; законодательство; политическая ситуация.

### 1.3. Методы оценки ОТН:

Для оценки ОТН применяются различные методы, в том числе:

- Статистические методы: анализ данных о прошлых проектах для выявления закономерностей и рисков.
- Экспертные оценки: опросы экспертов, методы Дельфи для оценки вероятности возникновения рисков.
- Методы моделирования: имитационное моделирование, сетевые графики для анализа влияния различных факторов на проект.
- Методы анализа рисков: FMEA, HAZOP для выявления потенциальных рисков и разработки мероприятий по их снижению.

## **2. Вклад ведущих ученых в развитие теории и практики ОТН**

2.1. Грабовский П. Г.: Управление рисками как фактор обеспечения ОТН

П. Г. Грабовый сделал значительный вклад в развитие методологии управления рисками в строительстве [4]. Его исследования сосредоточены на создании методов для идентификации, оценки и снижения рисков на всех стадиях жизненного цикла строительного проекта. Он разработал методы как количественной, так и качественной оценки рисков, а также стратегии реагирования на них, что способствует улучшению ОТН.

2.2. Гусаков А. А. и Гинзбург А. В.: Моделирование строительных процессов и оптимизация календарного планирования

Гусаков А. А. и Гинзбург А. В. значительно повлияли на развитие моделирования строительных процессов и оптимизацию календарного планирования [5, 6]. Они разработали методы имитационного моделирования, которые позволяют анализировать строительные процессы, выявлять «узкие места» и находить оптимальные решения. Их исследования способствовали оптимизации сроков строительства, повышению эффективности использования ресурсов и, как следствие, улучшению ОТН.

2.3. Теличенко В. И.: Технологическая надежность строительных процессов

В. И. Теличенко изучал вопросы обеспечения технологической надежности строительных процессов [7]. Он акцентировал внимание на значимости стандартизации технологических операций, контроля качества и механизации строительных работ. Его исследования способствовали повышению стабильности и воспроизводимости технологических процессов, что положительно отразилось на ОТН.

2.4. Лапидус А. А.: Управление проектами как инструмент обеспечения ОТН

А. А. Лапидус рассматривал управление проектами в качестве важнейшего инструмента достижения оптимальных технико-экономических показателей ОТН в строительстве [8]. В своих работах он акцентировал необходимость системного управления проектами, включающего тщательное планирование, рациональное распределение ресурсов, наложенные коммуникации и строгий контроль. Его исследования сыграли значительную роль в повышении эффективности строительного производства и, как результат, способствовали улучшению ОТН.

### **2.5. Современные исследователи**

Современные исследования в области ОТН активно развиваются, охватывая новые технологии и методы управления. Учёные, такие как Барановская Н. В. и Волков А. Т., уделяют особое внимание внедрению цифровых инструментов, включая BIM, Lean Construction и Agile-подходы, для повышения эффективности строительного производства. Кроме того, ведутся работы по использованию искусственного интеллекта и машинного обучения с целью прогнозирования рисков и оптимизации ключевых процессов в строительстве [9, 10].

## **3. Сравнительный анализ подходов и выводы**

Несмотря на различия в подходах, все рассмотренные ученые признают важность комплексного подхода к обеспечению ОТН, учитывавшего взаимосвязь технологических, организационных и экономических факторов.

1. Риск-менеджмент играет определяющую роль в достижении оптимальных технико-экономических показателей (ОТН).

2. Имитационное моделирование строительных процессов способствует рациональному использованию ресурсов и сокращению сроков реализации проектов.

3. Технологическая надежность выступает фундаментальным условием обеспечения ОТН.

4. Профессиональное управление проектами является критически важным для успешного завершения строительных объектов.

5. Цифровые технологии создают новые перспективы для повышения эффективности строительного производства.

## **4. Перспективы развития**

Перспективы развития:

- Разработка комплексных моделей оценки ОТН, учитывающих все факторы влияния.

- Применение искусственного интеллекта и машинного обучения для управления рисками и прогнозирования сбоев.

- Внедрение цифровых платформ для управления проектами и обеспечения прозрачности данных.

- Развитие методов управления проектами, ориентированных на обеспечение ОТН.
- Исследование влияния человеческого фактора на ОТН и разработка методов повышения квалификации и мотивации персонала.

### **Заключение**

ОТН в строительстве является сложной, но критически важной задачей. Работы рассмотренных ученых внесли значительный вклад в развитие теории и практики обеспечения ОТН. Дальнейшие исследования и внедрение передовых технологий и методов управления позволяют повысить эффективность строительного производства, снизить риски и обеспечить успешную реализацию строительных проектов.

Достижение оптимальных технико-экономических показателей (ОТН) в строительной отрасли представляет собой комплексную и стратегически значимую проблему. Проведенный анализ научных трудов продемонстрировал существенный вклад исследователей в разработку теоретических основ и практических механизмов обеспечения ОТН. Перспективы развития данной области связаны с углубленным изучением и активным внедрением инновационных технологических решений и современных управлеченческих подходов, что в совокупности позволит повысить производительность строительных процессов, минимизировать потенциальные риски гарантировать успешное выполнение проектов в установленные сроки. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ на 2025 год.

### **Литература**

1. Лапидус А. А., Мотылев Р. В., Сокольников В. В. Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства // Вестник МГСУ, 2023. Т. 18, № 1. С. 116–131.
2. Недавний О. И., Базилевич С. В., Кузнецов С. М. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов // Системы. Методы. Технологии, 2013. № 2(18). С. 137–141.
3. Голотина Ю. И., Рыжкова А. А., Арутунян М. С. Факторы, влияющие на сроки строительства // Научные труды КубГТУ : электронный сетевой политехнический журнал, 2018. № 9. С. 65–73.

4. Грабовский П. Г. Управление рисками в строительстве. – М. : Стройиздат, 2006. – 424 с.
5. Гусаков А. А., Гинзбург А. В. Моделирование и оптимизация строительного производства. – М. : АСВ, 2008. – 368 с.
6. Гусаков А. А., Гинзбург А. В., Веремеенко С. А., Монфред Ю. Б., Прякин Б. В., Яровенко С. М. Организационно-технологическая надежность строительства. М. : SVR-Аргус, 1994. – 472 с.
7. Теличенко В. И. Технология строительного производства. – М. : Высшая школа, 2010. – 528 с.
8. Лапидус А. А. Управление строительными проектами. – М. : АСВ, 2012. – 448 с.
9. Барановская Н. В., Волков А. Т. Цифровые технологии в строительстве: риски и возможности. – Вестник МГСУ, 2020. № 1. С. 5–15.
10. Бовтев C. B. Информационные технологии в строительстве. Управление строительными проектами в среде Microsoft Project 2013 Professional: учеб. пособие / С. В. Бовтев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 292 с.

**УДК 658.512.6**

*Сергей Сергеевич Морозов,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: morozovsergei90@gmail.com*

*Sergei Sergeevich Morozov,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: morozovsergei90@gmail.com*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

### **ANALYSIS OF METHODS OF SCHEDULE PLANNING FOR CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Разработка и применение эффективных методов календарного планирования становится ключевым фактором успешной реализации промышленных строительных проектов. Учитывая высокую степень сложности, множественность объектов и наличие параллельных процессов, требуется использовать подходы, способные учитывать как логико-технологическую последовательность работ, так и реальные ограничения ресурсов. В статье рассмотрены четыре метода: метод критического пути (CPM), метод оценки и анализа проектов (PERT), метод критической цепи (CCM) и пакетно-узловой метод (ПУМ). Проведён их сравнительный анализ с позиции применимости к строительству промышленных предприятий.

*Ключевые слова:* календарно-сетевое планирование строительства, метод критического пути, пакетно-узловой метод, промышленное строительство, методы планирования.

The development and implementation of effective scheduling methods is a critical factor in the successful delivery of industrial construction projects. Given the high complexity and multi-object nature of such projects, it is essential to apply approaches that take into account both the technological sequence of operations and real resource constraints. This paper reviews four planning methods: the Critical Path Method (CPM), the Program Evaluation and Review Technique (PERT), the Critical Chain Method (CCM), and the Advanced Work Packaging (AWP). Their applicability to industrial construction is analyzed in detail. Particular attention is paid to the combined use of AWP and CPM as a promising structure for digital integration into BIM and 4D environments.

*Keywords:* construction project scheduling, critical path method, Advanced Work Packaging, industrial construction, planning methods.

Строительство объектов промышленного назначения требует строгого соблюдения сроков и координации множества параллельно выполняемых процессов. Даже незначительное нарушение календарного графика может привести к экономическим потерям, срыву ряда работ и снижению инвестиционной эффективности. Промышленные предприятия, как правило, состоят из нескольких зданий и сооружений, имеющих различное функциональное назначение и разное влияние на ввод предприятия в эксплуатацию. Это накладывает требования к гибкому, детализированному и ресурсно-согласованному планированию.

В данной статье проводится обзор методов, доказавших свою эффективность в условиях строительства промышленной инфраструктуры, анализируется их потенциал и ограничения. Отдельное внимание уделяется возможности совместного применения методов на практике.

Метод критического пути (CPM) – данный метод предполагает построение логико-временной модели, где все технологические процессы отображаются в виде сети зависимых операций. Работы, расположенные на цепочке с нулевым резервом времени, формируют так называемый критический путь – отклонения на котором напрямую влияют на срок завершения всего проекта.

В проектах строительства промышленных объектов CPM используется для построения базовой модели реализации – от земляных работ до ввода инженерных систем. Метод позволяет выявлять зоны риска по срокам и своевременно перераспределять ресурсы на критические участки. Его применение подробно рассмотрено в ряде отечественных исследований, включая [1].

Преимущества данного метода заключаются в простоте визуализации и ясности приоритизации задач. Кроме этого, данный метод поддерживается большинством строительного ПО

Однако метод критического пути не учитывает вероятность отклонений по срокам и требует стабильной логической структуры без частых изменений.

Метод PERT предназначен для анализа проектов с высокой степенью неопределённости. Продолжительность каждой операции

оценивается через три сценария: наилучший, вероятный и наихудший. Итоговое значение рассчитывается с учётом их значимости, что позволяет формировать прогнозируемый срок выполнения с учётом рисков.

Подходит для тех участков проекта, где трудно заранее определить точные сроки – например, при монтаже нестандартного оборудования или при поставках импортных узлов. Метод помогает сформировать реалистичные ожидания по длительности всего цикла работ. Актуальные подходы к применению PERT в строительстве приведены в [2].

Достоинства данного метода: учёт рисков в расчётах и формирование разных сценариев реализации.

Однако весомым недостатком данного метода заключается в высокой трудоемкости получения достоверных оценок.

Метод критической цепи (CCM) основан на уменьшении продолжительностей работ и формировании за счёт этого так называемых «буферов проекта» [3]. В отличие от классических подходов, критическая цепь включает в модель ограниченность ресурсов. Здесь акцент сделан не только на логике операций, но и на фактической доступности трудовых и технических ресурсов.

В строительстве промышленных объектов применяется на участках, где ресурсы ограничены или задействованы многократно. Например, когда специализированная техника используется на нескольких объектах, либо при нехватке инженерного состава. Методика рассматривается в международных стандартах управления проектами, в частности в PMBOK [4].

Сильные стороны метода критической цепи: повышает устойчивость к сбоям; позволяет выявить и устраниить конфликты по ресурсам; обеспечивает более реалистичную модель сроков.

Однако слабой стороной данного метода является тот факт, что необходима хорошая цифровая поддержка и подготовленный персонал, а также CCM требует пересмотра управлеченческих подходов.

Пакетно-узловой метод (ПУМ) предназначен для ситуаций, когда проект состоит из нескольких разнотипных сооружений, вводимых в разное время. Он объединяет структурный и процессный

подход: календарное планирование осуществляется одновременно по пакетам работ (земляные, фундаментные, монтажные и т. д.) и по узлам (отдельным зданиям или сооружениям).

Это позволяет учитывать повторяющиеся виды работ и технологические зависимости между разными объектами стройки.

Порядок реализации:

1. Выделение всех узлов проекта.
2. Формирование набора повторяющихся технологических пакетов.
3. Создание матрицы «пакет-узел» с планируемыми сроками.
4. Согласование общих вех и контрольных точек между объектами.

Пакетно-узловой метод (ПУМ) подходит для строительства промышленных комплексов, где одновременно возводятся административные корпуса, производственные цеха, инженерные сооружения. Метод позволяет увязывать ввод разных зданий с технологической логикой запуска предприятия. Практический опыт его применения в строительной индустрии рассмотрен в [5].

Преимущества метода заключена в упорядоченности календарной структуры, повышенной гибкости при координации различных видов работ, возможности совмещения с сетевыми расчётами (CPM).

Данный метод ограничен сложностью в организации межобъектных связей, а также требует использование специализированных систем планирования.

Эффективное календарное планирование в промышленном строительстве требует комплексного сочетания структурного мышления и аналитического подхода. Среди проанализированных методов особенно стоит выделить связку ПУМ и CPM: ПУМ обеспечивает логичную структуризацию проекта по объектам и видам работ, а CPM позволяет точно рассчитывать и контролировать сроки по каждому направлению.

Методы PERT и CCM также находят применение, особенно при наличии неопределённостей или ограниченных ресурсов соответственно. Однако в качестве основы для системного планирования строительства крупных промышленных объектов оптимальным

решением является применение ПУМ как организационного каркаса с расчётом по СРМ.

В дальнейшем возможна интеграция данного подхода с современными цифровыми технологиями – в частности, с системами 4D-планирования и BIM-моделями. Это позволит обеспечить не только расчёт, но и визуализацию, контроль и адаптацию календарного графика в процессе реального строительства.

### **Литература**

1. Бовтев С. В. Расчёт параметров поточной организации работ методом критического пути // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3(68). – С. 90–97.
2. Мишакова А. В., Вахрушкина А. В. Метод оценки и анализа программ как механизм контроля сроков // Современные технологии управления проектами. – 2018. – № 5(81). – С. 25–31.
3. Бовтев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов / С. В. Бовтев // 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. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). – 7th ed. – Newtown Square, PA: PMI, 2021. – 370 p.
5. Левочкина Е. В., Матвеева А. Д. Особенности управления проектами в строительстве с помощью информационной системы MS Project // Материалы Всерос. молодёж. конф. «Управление проектами». – СПб. : СПбГАСУ, 2018. – С. 36–40.

**УДК 69.059**

Всеволод Сергеевич Сергеев,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* sevasevkavtv3000@yandex.ru

*Vsevolod Sergeevich Sergeev,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* sevasevkavtv3000@yandex.ru

## **АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ**

### **ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF TECHNICAL INSPECTION PROCESSES FOR BUILDINGS AND STRUCTURES UNDER TEMPORARY RESTRICTIONS**

В статье представлен анализ процессов организации и планирования технических обследований строительных конструкций, зданий и сооружений в условиях временных ограничений. В результате изучения научной литературы и нормативных документов были выявлены актуальные проблемы данного направления. Основной целью данного анализа является разработка методики выбора оптимальных организационно-технологических решений, которая позволит сократить сроки технических обследований, улучшить качество получаемых результатов и минимизировать воздействие на текущие работы.

*Ключевые слова:* организация процессов, обследование, актуальные проблемы, техническое состояние.

The article presents an analysis of the processes of organizing and planning technical inspections of building structures, buildings, and facilities under time constraints. As a result of studying scientific literature and regulatory documents, relevant problems in this area were identified. The main objective of this analysis is to develop a methodology for selecting optimal organizational and technological solutions that will reduce the duration of technical inspections, improve the quality of the results obtained, and minimize the impact on ongoing work.

*Keywords:* organization of processes, inspection or survey, current issues or relevant problems, technical condition.

Организация технического обследования зданий и сооружений – это система специальных мероприятий, проводимых с целью определения характеристик строительных конструкций, зданий или сооружений. Основная цель организации процессов работ по обследованию является формирование порядка и плана проведения специальных мероприятий, направленных на оценку состояния объектов недвижимости для выявления технических характеристик, параметров и состояния конструктивных элементов; определения необходимости в ремонтно-восстановительных работах, сносе, демонтаже; определения категории технического состояния или обновления данных по ней [1]. Данный процесс планирования включает в себя выбор основных оптимальных организационных и технологических решений на этапах подготовки и организации работ: поиск, сбор и анализ исходной документации по зданию или сооружению и данных, собранных при предварительном осмотре объекта обследования, выбор методов и инструментов диагностики.

Со временем здания и сооружения подвергаются различным воздействиям, которые могут негативно оказаться на их состоянии. Эти воздействия приводят к образованию дефектов и повреждений, что в свою очередь может привести к ухудшению прочностных характеристик и надежности строительных конструкций. Данные изменения способны повлиять на переход зданий и сооружений в аварийное техническое состояние. Реализация технического обследования, состоящего из предварительного осмотра (ознакомления с исходной документацией), визуального и инструментального (детального) обследований [2, 3], позволяет определить степень износа конструкций (физического и морального) и необходимость, а также целесообразность проведения ремонтно-восстановительных работ.

В соответствии с ГОСТ 31937–2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» обследование проводить рекомендуется не позднее чем через 2 года после ввода в эксплуатацию – в первый раз, а затем его рекомендуется проводить не реже одного раза в 10 лет (в 5 лет, если здание эксплуатируется в неблагоприятных условиях). Данными рекомендациями

зачастую пренебрегают, что в последствии может привести к увеличению затрат на ремонтно-восстановительные работы. Технические обследования также требуются по ряду других причин: для разработки проектов капитального ремонта, реконструкции, сноса (демонтажа); по окончании проектных сроков безаварийной эксплуатации или службы объекта недвижимости; при наличии дефектов, влияющих на безопасность здания или сооружения; после стихийных бедствий; при попадании здания или сооружения в зону влияния строительства или реконструкции.

Особое внимание требуется актуальным для современных крупных быстроразвивающихся городов техническим обследованиям зданий и сооружений при подготовке и сопровождении строительства или реконструкции в стесненных условиях, а также обследованиям при подготовке и сопровождении уплотнительной застройки, что актуально для районов, застроенных в советский период.

Техническое обследование зданий и сооружений является ключевым процессом для оценки их состояния и характеристик как для существующих объектов, так и для строящихся. Они актуальны в условиях ежегодного увеличения площади аварийного жилья [4]. Повышение эффективности организации процессов технических обследований способствует повышению безопасности и долговечности зданий и сооружений, экономии при капитальных ремонтах и реконструкциях. Развитие и повышение эффективности организации данных процессов требует определения актуальных проблем.

В ходе анализа научно-технической информации в области исследования были изучены работы отечественных ученых и нормативные документы. В результате анализа были обнаружены актуальные проблемы, связанные с организацией, планированием и исполнением специальных работ по техническому обследованию строительных конструкций, зданий и сооружений.

Сжатые сроки производства работ являются актуальной проблемой планирования и организации процессов технического обследования строительных конструкций, зданий и сооружений. Осуществление визуального и инструментального обследования [2, 3], а также составление технического отчета требуют зна-

чительного времени, что становится особенно сложным в условиях, когда на объекте проводятся работы по реконструкции, реставрации или строительству [2]. Дополнительные трудности в определении оптимальных сроков и состава исполнителей возникают из-за отсутствия аналогов ЕНиР и ГЭСН для организации специальных мероприятий, связанных с инструментальными обследованиями [3].

Затруднены условия технических обследований на действующих промышленных предприятиях [2]. Наличие проводимых производственных процессов на промышленных предприятиях будет ограничивать доступ к определённым участкам зданий или сооружений, а также создавать опасные условия работ для инженеров-обследователей. Временное прекращение производственных процессов может привести к экономическим потерям предприятия. Планирование и организация процессов технического обследования эксплуатируемых общественных зданий сталкивается со схожими проблемами, что обусловлено фиксированным дневным или круглосуточным графиком работ.

Проблема безопасности специалистов присутствует также при обследовании аварийных конструкций, зданий и сооружений. Организация таких работ требует учитывать дополнительные сроки на определение мер безопасности для инженеров-обследователей. Также в разделах ГОСТ 31937–2024, содержащих требования по охране труда, отсутствуют правила формирования плана осуществления безопасного ведения работ.

В соответствии с данными ГОСТ 31937–2024 – здания и сооружения, которым требуется восстановление проектной документации, нуждаются в осуществлении сплошное детальное (инструментальное) техническое обследование. Однако зачастую, при наличии требующейся исходной документации по объекту обследования, организация работ сталкивается с её низким качеством, что потребует оперативного изменения плана работ [3].

Для таких объектов осуществление визуального и инструментального обследований будет существенно затруднено, сроки выполнения данных работ будут требовать пересмотра, учитывая затраты времени на дополнительные процессы, например, обмерные

работы и вскрытия строительных конструкций с целью определения основных характеристик.

Затруднены технические обследования в условиях временных ограничений без использования современных технических средств. Ограничения в использовании данных приспособлений могут быть обусловлены рядом факторов, например, малым количеством квалифицированных кадров, отсутствием нормативной документации по соответствующим методам диагностики строительных конструкций или запретом на использование определенных типов приборов. Существующие запреты на использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) являются актуальной проблемой организации процессов технического обследования. Использование квадрокоптеров позволяет избежать существенных затрат времени и материальных ресурсов, которые потребуются при использовании подъемных кранов или строительных лесов [5].

Использование дорогостоящей отделки конструкций: подвесных потолков, обшивки поверхностей стен, навесных фасадных систем затрудняет процессы проведения визуального осмотра и инструментального обследования в условиях сжатых сроков проведения работ. Для получения ключевых характеристик строительных конструкций зачастую требуется разрушить отделочные слои. Этот процесс значительно усложняет согласование работ с заказчиком, так как многие из них могут быть обеспокоены возможными повреждениями и дополнительными затратами на восстановление. В результате, сроки проведения технического обследования могут существенно увеличиться. Также, в соответствии с ГОСТ 31937–2024, если в однотипных конструкциях обнаружены неодинаковые свойства материалов, требуется осуществление сплошного детального (инструментального) обследования.

Актуальной проблемой технического обследования является несоответствие существующих строительных конструкций современным строительным нормам и стандартам. Задачей технического обследования будет определить, насколько здание отвечает актуальным требованиям по безопасности, энергоэффективности и устойчивости к внешним воздействиям. В условиях постоянного

обновления законодательства и стандартов, требуются регулярные обследования в сжатые сроки.

Проблемы в организации процессов технического обследования зданий и сооружений могут также возникать из-за внутренних факторов, которые влияют на продолжительности работ внутри организации-исполнителя [6]. Такими факторами могут быть: загруженность руководящего состава и специалистов; отсутствие квалифицированного персонала и необходимость в комплексном подходе к их обучению [7, 8]; высокий процент ошибок в испытаниях, поверочных расчетах, оформлении отчетов.

### **Заключение**

В ходе анализа научной литературы и нормативных документов выявлены ключевые проблемы планирования и организации технических обследований строительных конструкций в условиях сжатых сроков. Цель анализа – определить актуальные проблемы и в дальнейшем разработать методику выбора эффективных организационно-технологических решений для подготовки к обследованию. Это позволит сократить сроки выполнения работ, повысить качество результатов и минимизировать негативное влияние на функционирование действующих объектов.

### **Литература**

1. Абрашитов В. С. Определение категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / В. С. Абрашитов, А. Н. Жуков, А. В. Устинова // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4(29). – С. 67–70. – EDN XDGPXJ.

2. Олейник П. П. Организация предпроектного обследования технического состояния реконструируемых производственных зданий и сооружений / П. П. Олейник, В. И. Бродский // Системные технологии. – 2019. – № 3(32). – С. 5–7. – EDN EHZSMP.

3. Кузьмина Т. К. Оценка факторов, влияющих на продолжительность выполнения работ по обследованию зданий и сооружений / Т. К. Кузьмина, Н. А. Берник, Д. А. Егоров // Строительное производство. – 2024. – № 2. – С. 13–16. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_2\_13. – EDN WNMWJY.

4. Олейник П. П. Система обследования технического состояния здания / П. П. Олейник, А. Д. Улитина // Системные технологии. – 2020. – № 1(34). – С. 11–16. – EDN UQQWCE.

5. Кавелин А. С. Использование квадрокоптеров для обследования объектов / А. С. Кавелин, А. Д. Тютина, В. Э. Нуриев // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 7(58). – С. 4. – EDN NHELQF.
6. Ефимов В. В. Причины срывов сроков по обследованию зданий и сооружений на уровне организации производства работ / В. В. Ефимов, Е. С. Щуров // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 1(97). – С. 463–472. – EDN ZWKFМН.
7. Челнокова В. М. Комплексное управление процессом повышения квалификации специалистов строительной отрасли : монография / В. М. Челнокова [и др.]. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2012. – 100 с.
8. Челнокова В. М. Развитие качества профессиональной переподготовки и повышения квалификации специалистов инвестиционно-строительного комплекса / В. М. Челнокова // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 5(34). – С. 257–261.

**УДК 65.658**

Злата Владимировна Третьякова,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: zlata.tretyakova.01@list.ru*

Zlata Vladimirovna Tretyakova,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: zlata.tretyakova.01@list.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ВОСТРЕБОВАННЫХ ГИБКИХ МЕТОДОЛОГИЙ И ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ**

**RESEARCH AND IDENTIFICATION  
OF THE MOST DEMANDED FLEXIBLE  
METHODOLOGIES AND SOFTWARE PRODUCTS  
FOR CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT**

Основное внимание в работе уделяется рассмотрению гибкой методологии управления проектами Agile, и методам, используемым для ее адаптации в рамках проектной деятельности. Автором обосновывается актуальность и значимость темы исследования, аргументируется положение о необходимости перехода с традиционных методов управления на более гибкие. Приводятся результаты ежегодных исследований, проводимых компанией по обучению и консалтингу ScrumTrek. В ходе работы, исследуются методы Lean, XP, Kanban, Scrum, как наиболее распространенные подходы, используемые для применения Agile-методологии. Определяются современные программные продукты, позволяющие реализовать управление проектами в рамках рассматриваемых гибких подходов. Modern software products are identified that allow implementing project management within the framework of the considered flexible approaches.

*Ключевые слова:* управление проектами, традиционные методы, гибкие методы, программные продукты, Agile, Lean, XP, Kanban, Scrum.

The main focus of the work is on the consideration of the flexible project management methodology Agile, and the methods used to adapt it within the framework of project activities. The author substantiates the relevance and significance of the research topic, and argues for the need to switch from traditional management methods to more flexible ones. The results of annual research conducted by the training and consulting company ScrumTrek are presented. In the course of the work, Lean,

XP, Kanban, Scrum methods are considered as the most common approaches used to apply the Agile methodology.

*Keywords:* project management, traditional methods, flexible methods, software products, Agile, Lean, XP, Kanban, Scrum.

Гибкие методологии управления проектами представляют собой совокупность подходов, которые помогают организовать работу на основе гибкого планирования и постоянной адаптации к изменениям. Каждая методология имеет свои особенности и применяется в зависимости от типа проекта, его масштаба, сроков и требований заказчика. Применение гибких методов управления проектами становится все более актуальным в современных условиях, поскольку с каждым годом проектная деятельность требует эффективной организации планирования при реализации сложных и уникальных проектов, в условиях неопределенности и изменчивости внешней среды. Такие условия, как правило связаны с потребностью в периодической переоценке принимаемых решений в ходе проекта, изменений исходных данных, пересмотра календарных графиков работ, финансовых и временных затрат. В связи с этим необходимо применение более эффективных методов и подходов, позволяющих выстроить баланс между вкладываемыми усилиями в планирование и трудозатратами, направленными на изменение этих же планов в процессе реализации. От правильно выстроенной системы управления и инструментов, зависит качество конечного продукта.

За время существования проектного управления было определено и создано большое количество эффективных методик, подходов и стандартов по управлению проектами. Каждая из этих методик отличается по отдельным характеристикам и свойствам, имеет свои особенности, ценности и принципы, области и способы применения. В настоящее время многие компании как мелкие, так и крупные уже начали внедрять в свою практику Agile [1].

Так, по итогам ежегодного исследования, проведенного в 2022 году крупнейшей компанией ScrumTrek в странах СНГ по обучению и консалтингу в области Agile, среди компаний, ведущих свою деятельность на российском рынке, таких как «МТС Банк», «МангоТелеком», «РТ ЛАБС», «Магнит», «Норникель», «АК Барс

Цифровые Технологии», и многих других, было выявлено, что более 19 % имеют высокую зрелость Agile-процессов, то есть активно применяют данную методологию в своей деятельности. Около 59 % компаний находятся на этапе становления Agile, иначе говоря, начали применять в своей деятельности, но не полностью. Порядка 22 % подошли к внедрению Agile в свою работу или уже внедрили локально, однако что-то по-прежнему тормозит процесс [2].

Для внедрения методологии Agile используются различные методы и подходы. Исходя из исследований ScrumTrek наиболее распространенными являются Lean, XP, Kanban и Scrum.

Методология **Lean** основана на философии бережливого производства, основная цель которой направлена на минимизацию потерь и максимизацию ценности для заказчика. Lean фокусируется на итеративном улучшении процессов, систематическом выявлении и устранении потерь, что позволяет сфокусироваться на действительно важных задачах и оптимизировать использование ресурсов, снизить затраты, создать вовлеченность всей команды в процесс реализации проекта и повысить его эффективность. Данная методология изначально была разработана в производственной среде, однако с течением времени стала популярной и в других отраслях, включая разработку программного обеспечения, маркетинг и управление проектами [3].

**Extreme Programming** или **XP** является гибким подходом к управлению проектами разработанный для улучшения качества программного обеспечения и его способности адаптироваться к изменяющимся требованиям заказчика. Ключевым аспектом экстремального программирования является регулярное взаимодействие с заказчиком на протяжении всего проекта, кроме того данный подход предполагает работу короткими итерациями, которые равны 1 или 2 неделям, в период которых создается и тестируется продукт, а затем предоставляется заказчику для получения обратной связи [4].

**Kanban** – это подход, который подразумевает визуализацию системы управления командой при помощи так называемой Kanban-доски, на которой закрепляются карточки с потоком текущих задач. Основной целью данного подхода является визуализация задач

проекта, выстраивание их приоритетности, сбалансирование работы команды и уровней рабочих внутри. Данная цель достигается при помощи так называемых карточек, расположенных на Kanban-доске, карточки подразделяются на стадии выполнения проекта: «Планируется», «Разрабатывается», «Тестируется» и «Завершено». На каждой из карточек отображаются задачи проекта по степени их приоритетности и, те, что вверху имеют наибольший приоритет и соответственно должны будут выполняться первыми. Для успешного осуществления подхода Kanban необходимо придерживаться основных принципов работы, к которым относят визуализацию и разделение задач на этапы, систематизацию Kanban-доски на стадии, для упорядочивания объема работы команды, наглядности и доступности информации, и постоянное улучшение процесса работы, поиск путей повышения производительности труда.

Подход Kanban может быть адаптирован в любом проекте, в котором процесс создания продукта можно разбить на этапы, с четко выстроенной последовательностью и приоритетностью задач внутри него. Данный подход позволяет добиться снижения влияния неопределенности на проект, при этом повышая производительность команды, ускоряя исполнение и увеличивая качество конечного продукта, за счет выравнивания потока задач и снижения нагрузки на команду проекта [5].

**Scrum** – это фреймворк, который был создан для того чтобы оптимизировать и управлять созданием ценных продуктов в условия неопределенности и изменчивости. Вся работа в Scrum построена на спринтах, целью которых является разработка определенной части работающего продукта. Продолжительность спрингта определяется самой командой, но она как правило составляет от одной до четырех недель.

На первой стадии владелец продукта формирует Бэклог продукта, который отражает весь объем работ по созданию продукта. Данный этап определяет функциональные и нефункциональные требования к продукту. Однако суть бэклога состоит не в его полноте, точности и детальности, фиксации каждого требования, а в его прозрачности, в предоставлении того объема работ, который не-

обходится для создания минимальной части готового продукта. Бэклог постоянно и постепенно уточняется, и обновляется, создавая инкрементальное управление. Владелец продукта несет за бэклог ответственность, однако он прислушивается к предложениям команды и Scrum мастера.

На второй стадии проводится собрание всей команды для планирования спринта. На данном собрании команда определяет объемы работы, который необходимо выполнить в течении спринта чтобы добиться создания части конченого продукта. Для того чтобы в последующих спринтах спрогнозировать время выполнения и объемы работ, которые команда может выполнить, каждый выполненный спринт анализируется и сравнивается с предыдущими, для выведения норм по выполнению. Такой анализ позволяет создать более точный план работ по будущему спринту, так называемый Бэклог спринта, который является поэтапным заданием для команды проекта. Для понимания текущего выполнения по спринту проводятся ежедневные собрания, которые называются ежедневный Scrum. На данном собрании команда проекта совместно с Scrum-мастером, который организует и направляет команду, обсуждается план работы, решаются возникающие проблемы, выстраивается план работы на день для достижения целей спринта.

По итогам спринта появляется часть конечного продукта, называемая в Scrum – инкрементом. Кроме того, впоследствии команда проводит анализ и осмысление спринта, проводит обсуждение того, что получилось и того, что вызвало проблемы. Иными словами, после каждого спринта происходит его совершенствование для улучшения работы команды и повышения качества конечного продукта [6].

Для внедрения практик по управлению проектами на основе гибкой методологии Agile существует широкий спектр инструментов, представленных на рынке отечественного программного обеспечения, к наиболее распространенным и применяемым относят Week, Digital-интегратор Улей и YouGile [7].

**Week** – является платформой для управления проектами, которая позволяет налаживать взаимодействие участников, контролировать

выполнение ежедневных задач, планировать процессы и повышать уровень профессиональной эффективности. Управление задачами на платформе осуществляется путем их отображения в виде списка, доски, календаря или диаграммы Ганта, функционал платформы также дает возможность группировать и сортировать задачи по приоритетности, вести учет рабочего времени, отслеживать ход выполнения проекта, формировать базу знаний, вести аналитику и составлять отчеты.

Работа в Week строится на основных идеях Agile-методологии, применяя подходы Scrum и Kanban. При работе с данным инструментом предлагается разработка «Дорожной карты» при помощи диаграммы Ганта, на которой отображаются этапы проекта и сроки их реализации. Далее по основной идеи Scrum на платформе планируются спринты при помощи досок, на которых проставляются периоды работы, в которых на этапы разбиты задачи всего проекта. На каждом этапе определяются приоритетность задач, чтобы команда проекта могла оценивать важность и срочность задачи. Кроме того, основным принципом гибкой методологии является постоянное сотрудничество и совершенствование, которое в рамках данной платформы организуется путем обсуждения задачи в комментариях или в отдельном окне, предназначенном для обсуждения. В рамках работы также оцениваются сроки выполнения задач, наступление контрольных точек и дедлайна событий по проекту, которые можно отслеживать при помощи диаграммы Ганта или календаря.

**Digital-интегратор Улей** – является универсальным решением на базе Битрикс24, для управления проектами, в котором фокус направлен на внедрение CRM-систем для управления проектами в различных областях и сферах деятельности, таких как недвижимость, торговля, транспорт и производство. На базе программы заложены основные принципы классических и гибких подходов к управлению проектами. Функционал программного продукта позволяют вести различного рода корпоративную информацию, формировать базу знаний, визуализировать бизнес-процессы, ставить групповые задачи для команды проекта, которые связаны при помощи диаграммы Ганта и имеют зависимости друг от друга. Кроме

того, платформа позволяет формировать различного рода отчеты, вести аналитику и статистику по реализуемым проектам, управлять рисками. Платформа имеет возможность интеграции со сторонними системами, такими как MS Project, Jira и другими подобными продуктами.

**YouGile** – это инструмент для управления проектами, который налаживает совместную работу команды проекта, а также выстраивает взаимодействие с заказчиками, поставщиками и подрядчиками. Данная платформа подходит не только для маленьких предприятий, но и для больших строительный и производственных компаний с большой численностью сотрудников. Как и в прошлых программных продуктах, работа в YouGile строится на методе управления Kanban и подразумевает вывод задач проекта в виде Kanban-доски с разделением на карточки. Также, платформа использует универсальное средство в виде диаграммы Ганта, функционал которой способен планировать работы в рамках задач проекта, составленных на Kanban-доске по дням, неделям и месяцам. Помимо этого, платформа дает возможность каждому члену команды создавать не только рабочие задачи, но и личные, которым сотрудник сам может расставить приоритетность и планировать свой рабочий день. Для упрощения взаимодействия между командой проекта, на платформе была продумана система обмена задачами при помощи ID-номера и ссылок. Также в программном продукте доработали импорт данных и появилась возможность переноса данных из Trello, Jira и MS Project.

С каждым годом растет тенденция перехода с традиционных методов управления проектами на более гибкие, поскольку способность к гибкости и адаптивности при стремительно меняющихся условиях является залогом успешной работы без снижения качества работы. Каждый подход к управлению проектами имеет свои преимущества и подходит для определенных типов проектов [8]. Такие подходы, как Lean, XP, Kanban, Scrum, являются наиболее распространенными и широко используемыми подходами, которые позволяют улучшить качество конечного продукта, быстро адаптироваться к изменениям, способствуют улучшению коммуникаций

между участниками проекта, управляют рисками, сокращают сроки выполнения проекта и повышают эффективность реализации [9]. Добиться эффективной реализации гибких подходов позволяют современные программные продукты для управления задачами, такие как Week, Digital-интегратор Улей и YouGile.

### **Литература**

1. Третьякова З. В. Анализ и сравнение традиционных и гибких методов управления проектами / З. В. Третьякова // Актуальные проблемы экономики и управления в строительстве : Материалы II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. 2024. – С. 298–302.
2. Отчет об исследовании Agile в России 2022 год. URL: <https://scrumtrek.ru/blog/agile-scrum/11200/otchet-issledovanie-agile-v-rossii-2022/> (дата обращения: 10.03.2025).
3. Ильина О. Н. Методология управления проектами. Становление, современное состояние и развитие. – М. : Вузовский учебник, Инфра-М., 2019. – 208 с.
4. Федорченко В. А., Василенко Ж. А. Инструментарий гибкой методологии управления проектами в строительной отрасли // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С. 1–10.
5. Корюходкина Ю. И., Гагарина С. Н. Современные методы управления проектами // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 1–2. С. 38–42.
6. Мокшин В. В., Гайнутдинова А. М., Самсонов С. О. Современные подходы к проектам. Методологии. Agile: Scrum // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2021. № 6. С. 946–962.
7. Бовтевев С. В., Третьякова З. В. Оценка возможности и эффективности цифровой трансформации гибких методов управления строительными проектами / З. В. Третьякова // Научно-аналитический журнал «Инновации и инвестиции». 2024. № 9. – С. 173–177.
8. Широкова В. Е. Анализ проблем и перспектив управления инновационными проектами в условиях цифровизации и глобальной нестабильности // Россия и Азия. 2020. № 5(14). – С. 72–86.
9. Третьякова З. В. Цифровая трансформация гибких методов управления строительными проектами // I Всероссийская научная студенческая конференция «Современная наука: вызовы, перспективы и возможности». СПбГУПТД. – 2024. – С.153–155.

**УДК 69.003.13**

Николай Владимирович Федотов,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: nyf82@mail.ru*

Nikolay Vladimirovich Fedotov,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: nyf82@mail.ru*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ  
НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ  
МЕТОДИКИ УЧЕТА РИСКОВ**

**IMPROVEMENT OF THE SCHEDULING PROCESS  
FOR RESIDENTIAL COMPLEX CONSTRUCTION BASED  
ON RISK ASSESSMENT METHODOLOGY INTEGRATION**

В статье представлен методический подход к совершенствованию процесса календарного планирования строительства жилых комплексов, включающий в себя систему учета рисков. Данный подход сочетает в себе системный анализ рисков строительного проекта и количественный анализ устойчивости проекта к рискам. Для его реализации предложена методика учета рисков, включающая динамическую систему весовых коэффициентов рисков, матрицу взаимного влияния рисков, систему раннего предупреждения и коэффициент устойчивости проекта. Эта методика позволяет количественно оценить устойчивость строительного проекта к различным категориям рисков, что необходимо для формирования обоснованных резервов времени и ресурсов. Практическое применение методики учета рисков на примере строительства ЖК «Город Звезд», расположенного в Ленинградской области, продемонстрировало, что учет вероятностного характера строительных процессов существенно повышает надежность календарных планов и способствует своевременной реализации проектов жилищного строительства.

*Ключевые слова:* календарное планирование строительства, управление рисками, жилищное строительство, коэффициент устойчивости проекта, матрица рисков, вероятностные методы планирования.

The article presents a methodological approach to improving the scheduling process for residential complex construction, incorporating a risk management system.

This approach combines systematic analysis of construction project risks with quantitative analysis of project resilience to risks. For its implementation, a risk accounting methodology is proposed, including a dynamic system of risk weighting coefficients, a matrix of mutual risk influences, an early warning system, and a project stability coefficient. This methodology allows for quantitative assessment of a construction project's resilience to various risk categories, which is necessary for establishing justified time and resource reserves. The practical application of the risk accounting methodology using the example of the “City of Stars” residential complex construction, located in the Leningrad region, demonstrated that accounting for the probabilistic nature of construction processes significantly increases the reliability of schedules and contributes to the timely implementation of housing construction projects.

*Keywords:* construction scheduling, risk management, residential construction, project resilience coefficient, risk matrix, probabilistic planning methods.

## **Введение**

Современное строительство, в том числе жилых комплексов, представляет собой чрезвычайно сложный процесс, характеризующийся высокой степенью неопределённости и значительным количеством взаимосвязанных рисков. Традиционные методы календарного планирования зачастую не учитывают вероятностный характер строительного производства, что в свою очередь может приводить к систематическим срывам сроков, превышению бюджетов и снижению качества. В данных условиях интеграция методик учета рисков в процесс календарного планирования становится не просто желательным, а необходимым элементом для эффективного управления строительными проектами.

Существующие подходы к учету рисков при планировании строительных проектов условно можно разделить на качественные (экспертные оценки, контрольные списки рисков) и количественные (метод Монте-Карло, PERT, сетевое моделирование с вероятностными параметрами). При этом стоит отметить, что большинство имеющихся методик имеют существенные ограничения, такие как:

- отсутствие учета динамического характера рисков, меняющегося на различных этапах реализации проекта;
- недостаточное внимание к учету взаимного влияний рисков и эффекту их каскадного распространения;

- слабая интеграция количественных оценок рисков непосредственно в процесс календарного планирования;
- отсутствие механизмов раннего предупреждения о возможном превышении пороговых значений индикаторов риска [1, 2].

Подход, используемый в данной работе, сочетает системный анализ рисков строительного проекта, вероятностное моделирование, метод экспертных оценок и количественный анализ устойчивости проекта к рискам. Это в свою очередь позволяет преодолеть указанные ограничения существующих методик и обеспечить более комплексный и адаптивный подход к управлению рисками на всех этапах строительного проекта.

Для реализации предложенного комплексного подхода была разработана методика учета рисков, которая включает в себя следующие этапы:

1. Идентификация и категоризация рисков проекта с формированием подробного реестра.
2. Разработка динамической системы весовых коэффициентов рисков (ДСВР) с учетом сезонных и стадийных особенностей проекта.
3. Построение матрицы взаимного влияния рисков (МВВР).
4. Создание системы раннего предупреждения рисков (СРПР) с мониторингом ключевых индикаторов.
5. Расчет коэффициента устойчивости проекта (КУП) как интегрального показателя надежности календарного плана.

Данная методика была задействована на реальном проекте строительства жилого комплекса «Город Звезд», что позволило оценить ее практическую применимость и эффективность.

ЖК «Город Звезд» расположен по адресу: Ленинградская обл., Всеволожский район, Свердловское гор. пос., д. Новосаратовка. В рамках исследования был взят участок № 17 (кадастровый номер 47:07:0605001:1177), на котором располагаются два многоэтажных корпуса жилого дома (секции 1.1, 1.2 и 2.1, 2.2).

На первом этапе применения методики на проекте ЖК «Город Звезд» необходимо было учесть множество проектных нюансов, которые уже в процессе строительства могут повлечь за собой потенциальные риски. Например, в данном проекте стоит отметить

наличие переменной этажности секций (от 13 до 23 этажей), подземный паркинг и встроенные коммерческие помещения. Всего в ходе анализа проекта было выявлено 28 основных потенциальных риска, каждый из которых может серьезно повлиять на сроки и стоимость строительства. Данные риски объединили в 5 групп (категорий): технические, организационные, экономические, природно-климатические и административные.

Следующим этапом стал расчет динамической системы весовых коэффициентов рисков (ДСВР), которая учитывает изменение значимости и вероятности рисков на разных этапах реализации проекта [3]. Например, риск обнаружения неучтенных коммуникаций будет критичен на этапе земляных работ, но на этапе отделки почти теряет значение.

Для расчета ДСВР весь процесс строительства ЖК «Город Звезд» был поделен три этапа:

1. Начальный (земляные работы, устройство фундаментов, подземный паркинг).
2. Средний (каркас здания, кровельные работы, инженерные системы).
3. Завершающий (отделочные работы, фасадные работы, благоустройство территории).

Далее на каждом из этих этапов были определены корректирующие коэффициенты, отражающие сезонные особенности выполнения работ (зима, весна, лето, осень). Например, для природно-климатических рисков максимальные значения весовых коэффициентов приходятся на зимний период, особенно при выполнении работ нулевого цикла и возведении каркаса высотных секций [4].

Для расчета итоговых значений весовых коэффициентов рисков с учетом этапности и сезонности применялась формула 1:

$$W_i = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot k, \quad (1)$$

где  $W_i$  – итоговый весовой коэффициент для  $i$ -го риска;  $\alpha$  – коэффициент сезонности (0,8–1,2);  $\beta$  – коэффициент стадии проекта (0,5–1,5);  $\gamma$  – коэффициент экономической ситуации (0,7–1,3);  $k$  – базовый коэффициент значимости риска (0–1).

Результаты расчетов показали определенную закономерность – наиболее уязвимым оказался начальный этап, особенно весенние месяцы (апрель–май 2024 г.), когда весовой коэффициент достигал пиковых 1,485. Это значение соответствовало критическому уровню риска ( $W_i \geq 1,2$ ) и требовало особого внимания.

Далее следующим этапом стало формирование матрицы взаимного влияния рисков (МВВР), которая позволяет количественно оценить взаимосвязи между различными категориями рисков и определить потенциальные каскадные эффекты [5]. Для ЖК «Город Звезд» была составлена матрица размером  $5 \times 5$  (по числу категорий рисков), где каждая ячейка показывала степень влияния одной категории на другую. Значения рассчитывались по формуле 2:

$$I_{ij} = \frac{R_i \cdot R_j \cdot C_{ij}}{100}, \quad (2)$$

где  $R_i, R_j$  – значимость  $i$ -го и  $j$ -го рисков (по 10-балльной шкале);  $C_{ij}$  – коэффициент корреляции между рисками (от –1 до 1), то есть характер и силу связи между рисками; 100 – условный масштабирующий коэффициент.

Рассчитанная и построенная матрица представлена на рисунке.

Категория рисков	T (9)	O (8)	Э (8)	П (7)	A (6)
Технические (9)	-	0,72	0,72	0,63	0,54
Организационные (8)	0,72	-	0,64	0,56	0,48
Экономические (8)	0,72	0,64	-	0,56	0,48
Природно-климатические (7)	0,63	0,56	0,56	-	0,42
Административные (6)	0,54	0,48	0,48	0,42	-

Матрица взаимного влияния рисков

Рассчитанная и построенная матрица подсветила несколько критических взаимосвязей:

- технические риски (с высшим баллом 9) продемонстрировали наибольший потенциал распространения негативного воздействия, оказывая существенное влияние практически на все остальные категории;

- обнаружилась сильная взаимосвязь между техническими и организационными рисками – технические проблемы с переменной этажностью (13–23 этажа) требовали пересмотра организации работ;
- экономические риски оказались в тесной зависимости от технических (0,72) – каждая техническая проблема прямиком влияла на бюджет;
- природно-климатические риски существенно влияли на технические (0,63), что было критично для высотных секций здания;
- административные риски, хотя и меньше влияли на другие категории, все же значимо воздействовали на технические аспекты (0,54).

Эти выявленные взаимосвязи заставили пересмотреть многие аспекты планирования, особенно касающиеся высотных секций и работ нулевого цикла.

Следующим этапом была разработана система раннего предупреждения рисков (СРПР) для ЖК «Город Звезд». Она основывалась на анализе проектной документации, календарного графика строительства и идентифицированных рисков.

СРПР включает набор ключевых индикаторов, мониторинг которых позволяет своевременно выявлять отклонения от нормального хода реализации проекта и принимать корректирующие меры до наступления критических последствий [5, 6].

Для количественной оценки критичности ситуации применялась формула 3:

$$CL = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{T_i} \cdot W_i, \quad (3)$$

где  $I_i$  – текущее значение  $i$ -го индикатора, например, текучесть кадров (число уволившихся / среднесписочная численность  $\times 100\%$ ) или процент брака (количество бракованных изделий / общее количество  $\times 100\%$ );  $T_i$  – пороговое значение  $i$ -го индикатора, которое может определяться на основе архивных данных компании (базы прошлых проектов), отраслевых стандартов и эталонных результатов, нормативных требований, внутренних политик компании и так далее;  $W_i$  – весовой коэффициент индикатора, который определяется

экспертным путем или методом анализа иерархий, при этом сумма всех весов должна равняться 1 (или 100 %) (пример распределения весов: критически важные индикаторы – 0,15–0,25, важные индикаторы – 0,1–0,15, второстепенные индикаторы – 0,05–0,1);  $n$  – количество контролируемых индикаторов.

Для ЖК «Город Звезд» были выделены следующие группы индикаторов:

- технические (отклонение несущей способности грунтов, процент дефектов в конструкциях);
- финансовые (отклонение от бюджета, снижение темпов продаж коммерческих помещений);
- организационные (отставание от графика, недоукомплектованность бригад);
- логистические (задержки поставок критически важных материалов);
- административные (время ожидания получения разрешительной документации).

Результаты расчета продемонстрировали значение уровня критичности  $CL = 1,655$ , что существенно превышало пороговое значение 1,0 и соответствовало красной зоне риска и свидетельствует о необходимости разработки и внедрения комплекса корректирующих мероприятий.

Последним этапом стал расчёт коэффициент устойчивости проекта (КУП), интегрирующий различные аспекты надежности календарного плана [7, 8], согласно формуле 4:

$$\text{КУП} = 0,4TB + 0,3RF + 0,2AS + 0,1BR, \quad (4)$$

где  $TB$  – временной буфер проекта (0–1);  $RF$  – ресурсная гибкость (0–1);  $AS$  – доступность альтернативных сценариев (0–1);  $BR$  – буферный резерв (0–1).

При анализе данного расчета было выявлено несколько узких мест:

- недостаточный временной буфер ( $TB = 0,146$ ) – запас времени не соответствовал рискам проекта;
- ограниченная ресурсная гибкость ( $RF = 0,35$ );

- минимальная доступность альтернативных сценариев ( $AS = 0,3$ ) – жесткие технологические требования существенно ограничивали возможности по изменению последовательности работ;
- относительно удовлетворительный буферный резерв ( $BR = 0,45$ ) – финансовый запас составлял 10–15 % от бюджета, что было неплохо, но недостаточно при имеющихся рисках.

Итоговый коэффициент устойчивости проекта КУП = 0,268 попал в зону низкой устойчивости ( $0,2 \leq \text{КУП} < 0,4$ ), что подтверждало высокую уязвимость проекта к выявленным рискам.

На основании проведенного анализа рисков и оценки устойчивости проекта ЖК «Город Звезд» был разработан комплекс корректирующих мероприятий, направленных на повышение надежности календарного плана и общей устойчивости проекта к рискам, включающий в себя следующие направления:

1. Увеличение временного буфера проекта:
  - пересмотр продолжительности критических работ с учетом весовых коэффициентов рисков;
  - внедрение метода критической цепи для управления буферами на уровне отдельных участков работ;
  - увеличение общего временного резерва проекта с 3,5 до 5 месяцев.
2. Повышение ресурсной гибкости:
  - диверсификация поставщиков критически важных материалов и оборудования;
  - создание резервного пула квалифицированных рабочих для высотных работ.
3. Расширение доступности альтернативных сценариев:
  - разработка вариативных технологических карт для ключевых процессов;
  - создание детализированных планов поэтапного ввода в эксплуатацию отдельных секций;
  - проработка альтернативных логистических схем для критически важных материалов.
4. Увеличение буферного резерва:
  - повышение финансового резерва проекта;

- создание специализированных резервных фондов для наиболее критичных категорий рисков;
- разработка механизмов оперативного перераспределения финансовых ресурсов между этапами проекта.

Внедрение предложенных корректирующих мероприятий позволило повысить расчетный коэффициент устойчивости проекта с 0,268 до 0,486, что соответствует переходу из зоны низкой устойчивости в среднюю ( $0,4 \leq \text{КУП} < 0,6$ ). При этом уровень критичности ситуации снизился с 1,655 до 0,923, что позволило вывести проект из красной (критической) зоны в желтую (зону повышенного внимания).

### **Заключение**

Практическое применение разработанной методики учета рисков при календарном планировании на проекте строительства ЖК «Город Звезд» подтвердило эффективность динамического подхода к управлению рисками с учетом этапности и сезонности строительства. Внедрение матрицы взаимного влияния рисков позволило выявить критические взаимосвязи между различными категориями рисков и снизить общую неопределенность проекта. При этом разработанная система раннего предупреждения и оценки устойчивости проекта через интегральный коэффициент (КУП) обеспечила количественное обоснование корректирующих мероприятий, что привело к снижению уровня критичности ситуации с 1,655 до 0,923.

Также стоит отметить, что методика, представленная в данной работе, может быть адаптирована для широкого спектра строительных проектов. Ее ценность заключается в возможности интеграции вероятностных методов оценки рисков непосредственно в процесс календарного планирования, что меняет подход к разработке календарных графиков в строительстве.

### **Литература**

1. Вяцкова Н. А. Классификация методов анализа и оценки рисков // Актуальные вопросы современной науки. 2014. № 33.
2. Ряжева Ю. И. Управление рисками проекта : учебное пособие / Ю. И. Ряжева. – Самара : Изд-во Самарского университета, 2023. – 80 с.

3. Спиридов С. Б. Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев / С. Б. Спиридов, И. Г. Булатова, В. М. Постников // Вестник евразийской науки. – 2017. – Т. 9, № 6(43).
4. Грачева М. В. Риск-менеджмент инвестиционного проекта : учебник / М. В. Грачева, А. Б. Секерин. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2019. – 544 с.
5. Литвиненко А. Н. Система раннего предупреждения и управления рисками предприятия // Известия СПбГАУ. 2014. № 36.
6. Р 50.1.090-2014. Менеджмент риска. Ключевые индикаторы риска = Risk management. Key risk indicators : рекомендации по стандартизации : дата введения 2015-12-01 / разработаны Некоммерческим партнерством «Русское общество управления рисками». – Москва : Стандартинформ, 2014. – ОКС 13.200.
7. Голубятников В. Т. Оценка производственно-экономической устойчивости инвестиционно-строительного проекта в процессе его реализации / В. Т. Голубятников // Управление проектами и развитие производства. – 2013. – № 2 (46).
8. Жирнова М. В. Ресурсный подход к управлению инвестиционной деятельностью строительных организаций : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (управление инновациями и инвестиционной деятельностью)» : дис. .... на соискание ученой степени канд. экон. наук / М. В. Жирнова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2008.

**УДК 658.512.6:69**

*Ирина Владимировна Фролова,  
студент*

*Сергей Владимирович Бовтев,   
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: frolova.i.2001@mail.ru,  
sbovteev@lan.spbgasu.ru*

*Irina Vladimirovna Frolova,  
student*

*Sergei Vladimirovich Bovteev,  
PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: frolova.i.2001@mail.ru,  
sbovteev@lan.spbgasu.ru*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ**

**MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES  
OF CALENDAR AND NETWORK PLANNING  
AND CONTROL OF CONSTRUCTION PROJECTS**

Современные информационные технологии играют ключевую роль в управлении строительными проектами, обеспечивая эффективное календарно-сетевое планирование и контроль выполнения работ. В данной статье рассматриваются информационные цифровые технологии для эффективного планирования и контроля строительных проектов, позволяющие организовывать задачи, распределять ответственность и отслеживать процессы выполнения работ для интеграции различных аспектов строительного процесса и повышения точности прогнозирования сроков и затрат. Также анализируются преимущества применения мобильных приложений и облачных решений для оперативного мониторинга и анализа хода строительства. В заключение подчеркивается важность внедрения современных информационных технологий в практику управления строительными проектами для достижения высокой эффективности и минимизации рисков.

*Ключевые слова:* календарно-сетевое планирование, ТИМ, 4D-моделирование, планирование и контроль строительных проектов, мобильные приложения, облачные сервисы.

Modern information technologies play a key role in the construction project management, ensuring effective calendar and network planning and control of work

performance. This article discusses digital information technologies for effective planning and control of construction projects, which allow to organize activities, allocate responsibilities and track the process of activities to integrate various aspects of the construction process and improve the accuracy of forecasting deadlines and costs. The advantages of using mobile applications and cloud solutions for operational monitoring and analysis of construction progress are also analyzed. In conclusion, the importance of introducing modern information technologies into the practice of construction project management is emphasized in order to achieve high efficiency and minimize risks.

*Keywords:* scheduling, BIM, 4D-modeling, construction project scheduling and control, mobile applications, cloud services.

Современная строительная отрасль сталкивается с множеством вызовов, связанных с необходимостью сокращения сроков реализации проектов, снижения затрат и обеспечения высокого уровня качества выполняемых работ. В условиях растущей конкуренции на мировом рынке и ужесточения требований к продукту строительства возрастает значимость эффективного управления строительными процессами. Одним из ключевых инструментов для решения этих задач являются современные информационные технологии, которые позволяют оптимизировать процессы календарно-сетевого планирования и контроля строительства. Эти технологии обеспечивают возможность более точного прогнозирования сроков и ресурсов, улучшения взаимодействия между участниками проекта и своевременности реакции на возникающие изменения и отклонения от плана.

Целью настоящей работы является исследование современных информационных технологий, применяемых в календарно-сетевом планировании и контроле строительных проектов, а также оценка их влияния на повышение эффективности управления строительными процессами.

Международные разработки в этой области могут служить отличным шаблоном для понимания принципов и механизмов работы подобных систем. Использование иностранного программного обеспечения в качестве базы для создания собственных продуктов в сфере календарно-сетевого планирования и контроля строительных проектов имеет ряд очевидных преимуществ. Перенимая лучшие

практики и адаптируя их под национальные условия, отечественные разработчики могут создать конкурентоспособные продукты, отвечающие современным требованиям и стандартам.

Календарно-сетевое планирование в строительстве начало активно применяться в середине XX века с развитием методов управления проектами, таких как метод критического пути (CPM) и метод PERT, которые появились в 1950-х годах для оптимизации сложных процессов. В строительной отрасли эти методы позволили эффективно координировать выполнение работ, учитывать зависимости между задачами и минимизировать простои. Автоматизация расчётов календарных графиков методом критического пути и появление программного обеспечения для персональных компьютеров существенно повысило распространение календарного планирования среди обычных потребителей.

Достаточно много научных работ было посвящено рассмотрению вопросов планирования и контроля строительных проектов с применением современного программного обеспечения. Например, в [1] предложено совершенствовать процессы календарного планирования строительства в среде программного обеспечения с помощью матриц Эйзенхауера, а в работе [2] рассмотрены вопросы применения вероятностных методов планирования при формировании календарных графиков в среде программного обеспечения MS Project.

Формируемые и рассчитываемые вручную календарные графики становятся слишком тяжелыми в управлении и контроле. Современные технические возможности позволяют эти недостатки устраниить. Одним из наиболее популярных подходов к управлению строительными проектами является использование таких систем как Oracle Primavera P6 и Microsoft Project, которые позволяют создавать детализированные календарные графики и учитывать множество факторов, влияющих на выполнение работ. Для более качественного управления сроками строительства применяется 4D-моделирование [3, 4], объединяющее пространственную модель объекта (3D) с временными параметрами, что позволяет визуализировать процесс строительства и синхронизировать его с календарно-сетевым графиком. Такие программные продукты как SYNCHRO Pro, Vico

Office и Asta Powerproject сочетают функции 4D-моделирования и формирования графиков, значительно улучшая контроль над ходом строительства. Максимальная эффективность этих решений достигается при использовании технологий информационного моделирования (ТИМ), которые играют ключевую роль в современном строительстве, особенно в области планирования и контроля. ТИМ обеспечивают точность 4D-моделей, наглядно демонстрирующих последовательность работ, помогающих выявлять коллизии, оптимизировать графики, минимизировать ошибки и просто, а также улучшать координацию между участниками проекта.

Помимо планирования необходимо учитывать важность контроля хода строительства, который является одной из важнейших составляющих в управлении строительными проектами. Он включает в себя мониторинг выполнения работ, сравнение фактического прогресса с запланированным, выявление отклонений и принятие мер по их устранению. Развитие мобильных технологий и облачных сервисов открывает новые возможности для управления строительными проектами. Яркими примерами являются такие программы, как PlanGrid, Procore, Synchro Field [5]. Они позволяют участникам проекта получать доступ к актуальной информации непосредственно на строительной площадке, что способствует оперативному принятию решений и устранению проблем. Облачные и мобильные решения обеспечивают централизованное хранение и обработку данных, позволяя работать с проектами независимо от географического положения пользователей. Программные продукты позволяют фиксировать фактическое выполнение работ и проводить их приемку. Все данные о выполненных работах сохраняются в системе, что обеспечивает прозрачность и доступность информации для всех участников проекта. Это особенно полезно при проведении промежуточных проверок и финальной сдачи объекта.

По результатам анализа научной литературы, изучения практического опыта производственной деятельности строительных организаций, представленных в открытых источниках, а также изучение экспертных мнений, можно составить перечень требований к современным информационным технологиям календарно-сетевого

планирования и контроля строительства, которые обеспечивают повышение организационно-технологической надёжности и эффективности реализации строительных проектов:

1. Оперативность – поступающая информация должна незамедлительно учитываться и отображаться на всех уровнях информационной системы. В противном случае участники строительного проекта будут предпочтовать получать данные из альтернативных источников (например, телефон, чат в мессенджере и т. д.).

2. Достоверность – данные календарного графика должны соответствовать реальному положению дел. Если информация в графике отличается от факта – то участники строительного проекта опять же начнут доверять иным источникам.

3. Простота – использование систем не должно отнимать значительное время и энергию у их пользователей. Время, затрачиваемое на ввод, обработку и анализ данных должно окупаться за счет экономии времени на принятие верных управлеченческих решений.

4. Разграничение прав доступа – различные участники строительного проекта, представляющие разные организации, должны получать доступ только к той информации, которая им нужна и, наоборот, не получать доступ к той информации, которую им запрещено передавать.

5. Интеграция с другими системами. Данные из календарно-сетевых графиков необходимо бесшовно передавать в другие системы, например, в систему проектного финансирования и бюджетирования. Для такой передачи могут использоваться хранение данных в системе управления базами данных SQL или сохранение данных в формате файлов XML.

6. Возможность мобильного использования. Очень часто надо получать и вводить данные в оперативном режиме пользователям, которые находятся непосредственно на строительной площадке или на иных удалённых локациях. В этом случае необходимо использовать телефон или планшет. Приветствуется автоматическое распознавание изображений (фотографий), определение локаций и т. д.

7. Надёжность – в том числе автоматическая проверка ошибок календарного планирования и отслеживания графика, поиск

ненеэффективных решений, использование для этих целей в ближайшем будущем искусственного интеллекта (известно специальное программное обеспечение для диагностики качества календарных графиков, например Acumen Fuse).

8. Наглядность. Большинство известных информационных систем не могут обеспечить такое требование, поэтому пользователям приходится прибегать к системе кодирования работ по разным критериям (корпус, этаж, подрядчик, вид работ) для того, чтобы облегчить, а зачастую сделать возможным работу с календарными графиками. Для решения этой проблемы максимально эффективно использовать системы 4D-моделирования, которые позволяют синхронизировать 3D-модели с календарными графиками и обеспечить «экранизацию» процесса строительства объектов.

Надо признать, что до сих пор во многих строительных организациях информационные системы календарно-сетевого планирования и контроля строительства так и не внедрены. Отмечается неготовность строителей переходить на сложное программное обеспечение. Ситуация с уходом зарубежных вендеров с российского рынка только усугубляет такое положение. С другой стороны, выгоды от внедрения информационных систем в практику управления строительными организациями очевидны и должны приводить к существенному повышению эффективности производственной деятельности, что позволит окупить затраты на переход на применение современных информационных систем.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний день современные информационные технологии играют важную роль в повышении эффективности календарно-сетевого планирования и контроля строительства. Они позволяют оптимизировать процессы управления, сокращать сроки выполнения работ и минимизировать затраты. Применение таких технологий, как проектные системы управления, ТИМ, мобильные приложения и облачные сервисы, становится необходимым условием успеха в современной строительной отрасли. Однако для полного раскрытия потенциала этих технологий необходимо продолжать исследования и разработки в данном направлении. Важно также уделять внимание вопросам подготовки

кадров и адаптации существующих методик к новым технологическим возможностям.

### **Литература**

1. Христофорова К. А., Демидова К. С., Кривогина Д. Н. Управление календарно-сетевыми графиками строительства в условиях нестабильного мира // Инженерный вестник Дона. 2022. № 12(96). С. 707–720.
2. Болотин С. А., Даадар А.-К. Х., Мальсагов А. Р. Формирование вероятностных расписаний строительства в программе Microsoft Project // Недвижимость: экономика, управление. 2023. № 2. С. 45–49.
3. Бовтевев С. В., Колесников С. В., Шерстобитова П. А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284.
4. Диско А. И. Применение продуктов SYNCHRO для комплексного управления строительством // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – С. 226–232.
5. Пименов С. И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2022. – № 3. – С. 92–104.

**УДК 69.05**

Всеволод Антонович Шохин,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: vsevolodshokhin@yandex.ru*

*Vsevolod Antonovich Shokhin,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: vsevolodshokhin@yandex.ru*

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НУЛЕВОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE FACTORS INFLUENCING THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE ZERO CYCLE OF CONSTRUCTION**

В статье рассматриваются ключевые организационно-технологические решения нулевого цикла строительства в условиях плотной городской застройки с учётом влияния технологических, геотехнических и гидрогеологических факторов. На примере проектируемого объекта в г. Санкт-Петербурге проведен анализ наиболее влиятельных на организацию нулевого цикла строительства факторов, разработаны рекомендации по технологической последовательности производства работ и разделению цикла строительства на фронты работ, обеспечивающие эффективность производства работ и минимизацию рисков. Приведены типовые инженерные решения, направленные на сокращение дополнительных осадок существующих зданий, защиту близлежащих водоёмов, устойчивость ограждения котлована и эффективное водоотведение.

*Ключевые слова:* разработка котлована, нулевой цикл, организация и технология строительства, геотехника, гидрогеология, шпунт, свайные работы.

The article discusses the key organizational and technological solutions of the zero cycle of construction in conditions of dense urban development, taking into account the influence of technological, geotechnical and hydrogeological factors. Using the example of a projected facility in St. Petersburg, an analysis of the factors most influential on the organization of the zero cycle of construction was carried out, recommendations were developed on the technological sequence of work and the division of the construction cycle into work fronts, ensuring the efficiency of work and minimizing risks. Typical engineering solutions aimed at reducing

the additional precipitation of existing buildings, protecting nearby reservoirs, stable excavation fencing, and efficient sanitation are presented.

*Keywords:* excavation development, zero cycle, organization and technology of construction, geotechnics, hydrogeology, pile piling.

## Введение

В основу настоящей статьи положен проект квартальной застройки на территории Васильевского острова в Санкт-Петербурге. Участок расположен в зоне со сформированной окружающей застройкой, ограниченными возможностями доступа техники, высоким уровнем грунтовых вод и рядом дополнительных природоохранных ограничений (в 150 м от объекта протекает р. Нева). Объект представлен комплексом жилых многоквартирных домов высотой 10 этажей с двумя подземными паркингами. Глубина котлована до 5,8 м, разработка котлована предполагается под защитой шпунтового ограждения, извлекаемого локально (рис. 1).



Рис. 1. Ситуационный план рассматриваемого объекта

Предметом исследования выступает влияние комплекса технических, геотехнических и гидрогеологических факторов на выбор

и обоснование организационно-технологических решений производства работ нулевого цикла.

В рамках статьи проведена систематизация и анализ комплекса факторов, влияющих на выбор организационно-технологических решений при выполнении нулевого цикла в стеснённых условиях [10], а также разработаны рекомендации, позволяющие на стадии проектирования определить наиболее эффективные методы производства работ.

### **1. Основные технологические схемы производства работ нулевого цикла.**

Согласно [2], выделяют 4 основные технологические схемы нулевого цикла (рис. 2):

1. Технологическая схема № 1 (ТС-1). Организация работ в котловане с перемещением технических средств за пределами котлована;

2. Технологическая схема № 2 (ТС-2). Организация работ в котловане с перемещением технических средств за пределами котлована с вертикальными откосами;

3. Технологическая схема № 3 (ТС-3). Организация работ в котловане с перемещением технических средств в пределах возводимого здания;

4. Технологическая схема № 4 (ТС-4). Организация работ в котловане с перемещением технических средств по дну выемки и за пределами возводимого здания.

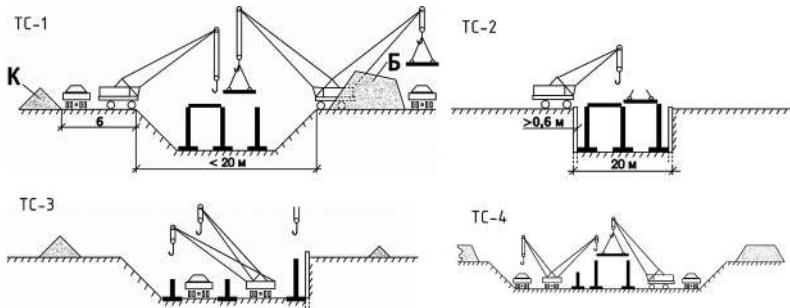


Рис. 2. Технологические схемы

## **2. Анализ факторов, связанных с технологией возведения подземных конструкций.**

Для рассматриваемого объекта предполагается устройство ограждающих конструкций котлована из стальных шпунтовых свай. Шпунтовые стенки, работающие совместно благодаря связующему звену в виде обвязочной балки, обычно работают как заделка при отношении глубины котлована к длине шпунта 1:2 [6], однако внушительная глубина котлована под подземный паркинг (более 5 м) диктует включение в работу распорных горизонтальных систем [12].

Более того, проблемным фактором также является сам размер котлована – расстояние от бровки котлована до крайней точки может достигать 100 м (рис. 3).



Рис. 3. Габариты котлована и контур шпунтового ограждения

Другой влиятельный технологический фактор – расположение подземных конструкций и стесненные условия производства работ. Нахождение с трех сторон от котлована существующих зданий ограничивает логистику и подачу материалов. Учитывая значительное расстояние от края котлована до зоны производства работ, в этих условиях одним из наиболее рациональных решений становится установка башенного крана внутри котлована до начала выполнения нулевого цикла.

Монтаж башенного крана также сопряжён с рядом технических и проектных ограничений – доп. армирование и сваи при интегрированном в плитный ростверк фундамент, дополнительное геотехническое моделирование [12].

Пространственная конфигурация подземных сооружений и внешние ограничения по застройке определяют не только параметры и форму котлована, но и напрямую влияют на выбор механизмов, схему организации строительной площадки и последовательность выполнения работ нулевого цикла.

### **Влияние факторов на организационно-технологические решения**

Вышеприведенные факторы напрямую влияют на организационно-технологические решения. В большинстве случаев разница отметок между распоркой и дном котлована препятствует движению техники и делает невозможным непрерывную подачу материалов, вывоз грунта, бетонирование и прочие технологические операции.

Эти ограничения вынуждают отказаться от схем ТС-3 и ТС-4 в пользу ТС-2, т. е. располагать технику за пределами котлована [2].

Работа габаритной техники, такой как буровая или сваевдавливающая установка, невозможна со дна котлована. Монтаж внутренней распорной системы вынуждает прибегнуть к погружению свай с уровня дневной поверхности (рис. 4). В случае применения свай заводского изготовления, в условиях строительства в черте города чаще всего применяют метод статического вдавливания с помощью инвентарного добойника [7].

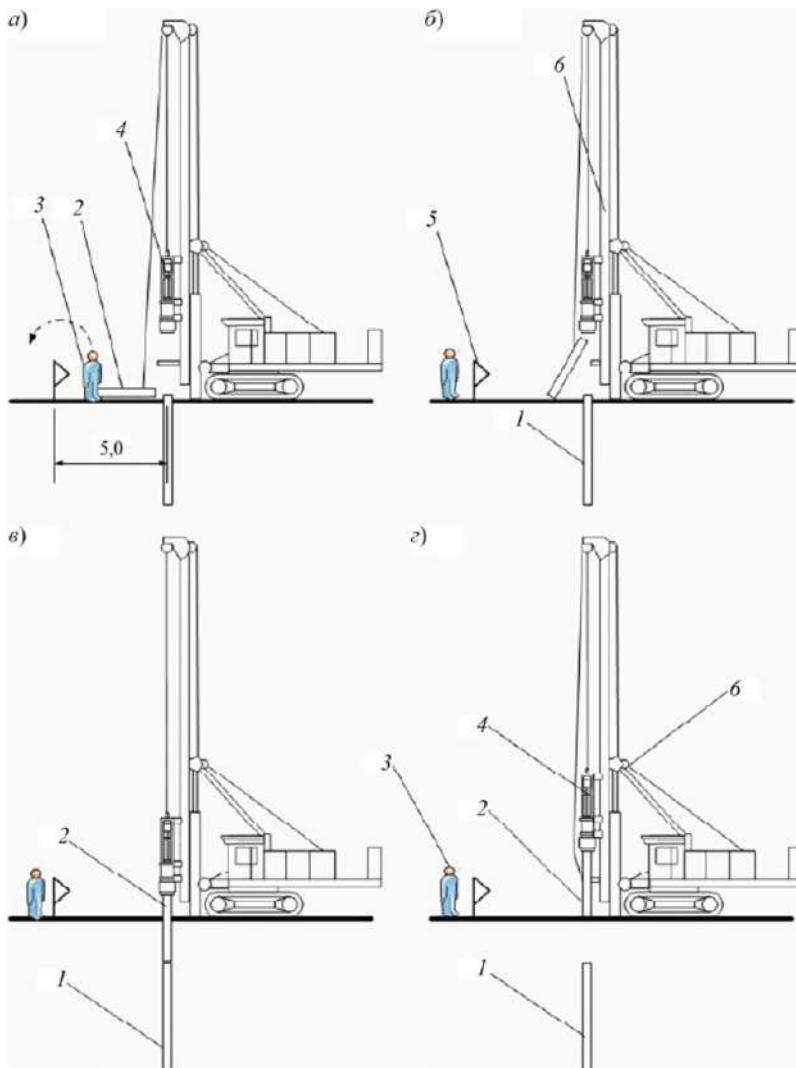


Рис. 4. Технологическая последовательность погружения свай с дневной поверхности добойником: 1 – свая; 2 – добойник; 3 – копровщик; 4 – рабочий механизм; 5 – ограждение опасной зоны; 6 – копер

Распорная система шпунта в любой её вариации вынуждает производить работы по ТС-2. Без разделения фронта работ на участки (Р1) и работе по схеме ТС-2 возникают сразу несколько технологических затруднений, например, необходимость применения тяжелых кранов, бетонотранспортной установки со стационарным бетоноводом [9]. Таким образом, разделение фронтов Р-1 нецелесообразно в случае нашего объекта вне зависимости от типа распорной системы шпунта. Разделение фронтов на участки (Р-2) характеризуется поэтапной разработкой котлована и устройством подземных конструкций [1]. Работы при подобной схеме начинаются с самого труднодоступного участка и заканчиваются наиболее доступным, причем при работе на участке п логистика обеспечена через территорию участка n+1, что не вызывает затруднений при бетонировании, подаче стройматериалов или других операциях [4].

#### **4. Анализ геотехнических факторов**

##### **Геотехническое влияние на окружающую застройку**

При производстве земляных работ в непосредственной близости от существующей застройки соблюдение требований по недопущению превышения предельно допустимых осадок фундаментов является критически важным условием [12]. Организационно-технологические решения нулевого цикла включают следующий алгоритм действий:

1. Осуществляется техническое обследование конструктивных элементов окружающей застройки.

2. Выполняется расчет несущей способности основания существующих фундаментов с учетом предстоящих работ по разработке котлована, принимается решение о «пересаживании» фундаментов на свайное основание.

3. Определяются параметры шпунта и распорной системы.

4. Определяется необходимость разделения фронта работ на участки.

В условиях плотной городской застройки и чувствительного состояния грунтового массива допускается применение исключительно маловоздействующих технологий погружения свай и шпунта, позволяющих снизить уровень вибрационных воздействий, динамического уплотнения и структурной разгрузки массива [4].

## Влияние фактора на организационно-технологические решения

Технологическая схема определяется из условия обязательного применения ограждения котлована, что вынуждает отказаться от ТС-1 и ТС-4 в пользу ТС-2 и ТС-3 [2].

Ограничения на забивку свай в черте города также вынуждают отказаться от этой технологии.

При погружении шпунта используется метод вдавливания и вибропогружения, в случае если частотные характеристики вибропогружателя обеспечивают достаточно низкие деформации грунта и ведется постоянный мониторинг. В рамках рассматриваемого объекта целесообразно применить метод статического вдавливания как свай, так и шпунта, ввиду минимальных рисков в части дополнительных осадок и сравнительно невысокой стоимости работ.

Разделение фронтов по схеме Р-2 требуется в том случае, если моделирование разработки котлована сразу целиком привело к результатам осадок выше допустимых [12]. Ниже приведен пример пересадки существующего здания на сваи и разбития фронтов работ на отдельные захватки из условий сокращения осадок (рис. 5, 6).

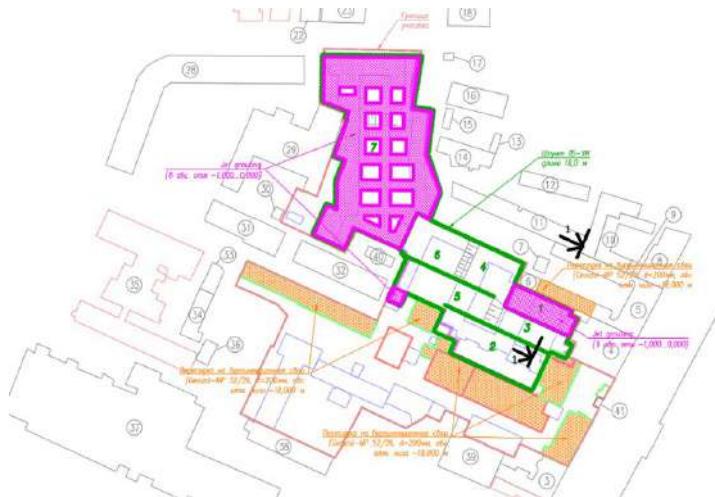


Рис. 5. Пример разбития фронта работ на участки

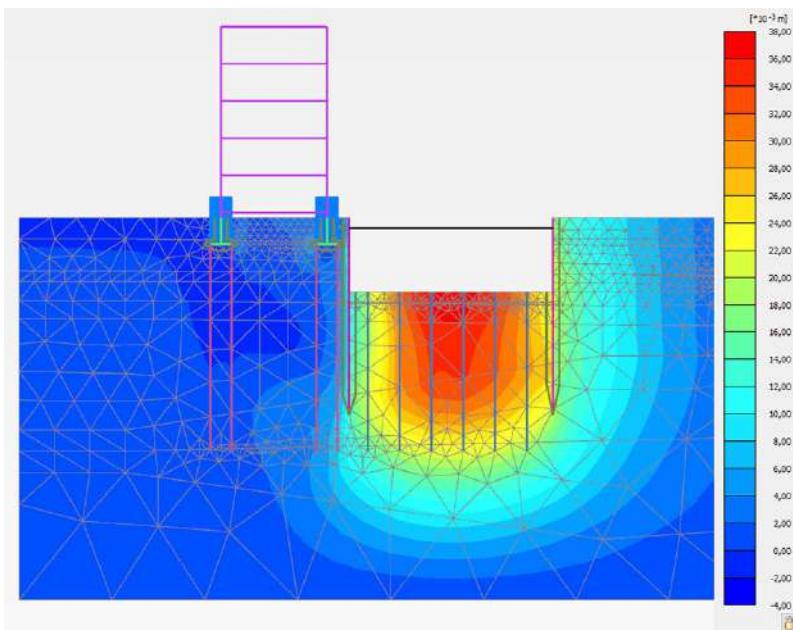


Рис. 6. Сечение 1-1. Определение вертикальных деформаций грунта после пересадки сущ. Здания (№ 5) на сваи

### **Несущая способность грунтов дна котлована**

Для предотвращения просадок и сохранения несущей способности грунтов дна котлована устраиваются временные дорожные покрытия: щебеночное основание, деревянные настилы (плашки), железобетонные плиты и т. д. [11]. При слабых грунтах дополнительно применяют песчано-щебёночную подушку с расчётом на деформации и сдвиг [5].

### **Влияние фактора на организационно-технологические решения**

Инженерно-геологические изыскания позволяют оценить устойчивость грунтов в уровне дна котлована при действии динамиче-

ских нагрузок. При слабых грунтах может потребоваться расчёт несущей способности основания, замена слоя и отказ от тяжёлой техники на дне котлована.

Для рассматриваемого объекта с свайным фундаментом устройство временной дороги в котловане признано нецелесообразным.

## 5. Анализ гидрогеологических факторов

### Высокий уровень грунтовых вод

Высокий уровень грунтовых вод (менее 2 м от поверхности) характерен для прибрежных участков и глинистых грунтов. Влияние УГВ на технологии нулевого цикла ограничено, однако требует инженерных мероприятий: открытого водоотлива, водопонижения и устройства противофильтрационной завесы. Такая завеса формируется шпунтом, заглублённым в водоупор, и предотвращает приток воды и гидравлический прорыв [6].

В условиях активной фильтрации возможна суффозия – вынос частиц грунта, вызывающий просадки. Особенно это опасно для фундаментов соседних зданий. Решением служит шпунтовое ограждение, при необходимости усиленное цементацией (Jet Grouting) [8].

На исследуемом объекте высокий УГВ стал основанием для применения шпунта по периметру котлована.

### Наличие водоема вблизи стройплощадки

Согласно Водному кодексу РФ и СП (в т.ч. СП 256.1325800.2016, СП 48.13330.2019), при строительстве вблизи водоёмов устанавливаются охранные зоны с особыми ограничениями:

- Водоохранная зона (ВОЗ) – от 50 до 200 м, запрещены действия, ведущие к загрязнению водоёма.
- Прибрежно-защитная полоса (ПЗП) – 20–50 м, ограничены земляные работы, стоянка техники и складирование материалов.
- Зоны санитарной охраны (ЗСО) – вокруг водозаборных скважин, строительство в них запрещено или требует специального согласования.

## **Влияние фактора на организационно-технологические решения**

В рассматриваемом объекте вышеупомянутые требования по организации подготовительного периода и нулевого цикла актуальны ввиду протекания в 70 м от стройплощадки р. Невы (рис. 1).

Нахождение водоема требует принятия решений, снижающих риски загрязнения и гидрологического воздействия. Это, в первую очередь, означает отказ от схем ТС-3 и ТС-4, предполагающих массовое использование техники в пределах котлована. Причины следующие [3]:

- Работа техники по дну котлована увеличивает объем загрязненных стоков, которые необходимо улавливать и очищать.
- При наличии открытого водоема даже незначительное загрязнение может привести к штрафным санкциям и приостановке работ.
- Сложнее реализуется контроль утечек топлива и масел, особенно в условиях неустойчивого или переувлажненного основания.

## **6. Предложение по разработке организационно-технологических решений**

В рамках рассматриваемого проекта рекомендуется применять следующие организационно-технические решения в связи с проанализированными факторами:

### **Решения по распорной системе шпунтового ограждения** Распорную систему применять (рис. 7):

- При пролете между шпунтовыми стенками до 50 м – горизонтальные распорки, сечения – трубы стальные диаметром более 600 мм (уточняется расчетом) со стойкой на свае.
- При пролете между шпунтовыми стенками более 50 м – наклонные распорки, защемленные в плиту фундамента.

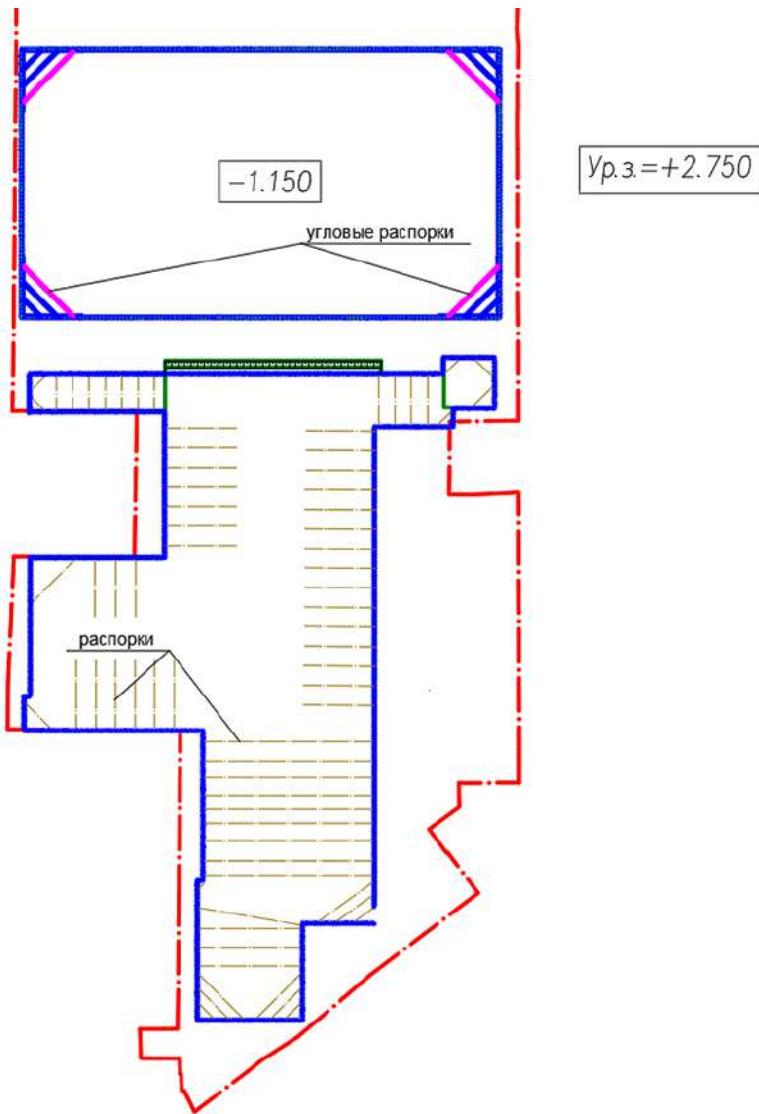


Рис. 7. Рекомендуемый план шпунта и распорной системы

## Решение по разделению фронтов и технологической схеме

Для снижения величин осадок оснований фундаментов существующих зданий, обеспечения логистики и снижения требований к автопарку подрядчика, ликвидации издержек при проектировании решений движения техники по дну котлована, рекомендуется производить работы по участкам в следующей технологической последовательности (рис. 8, 9):

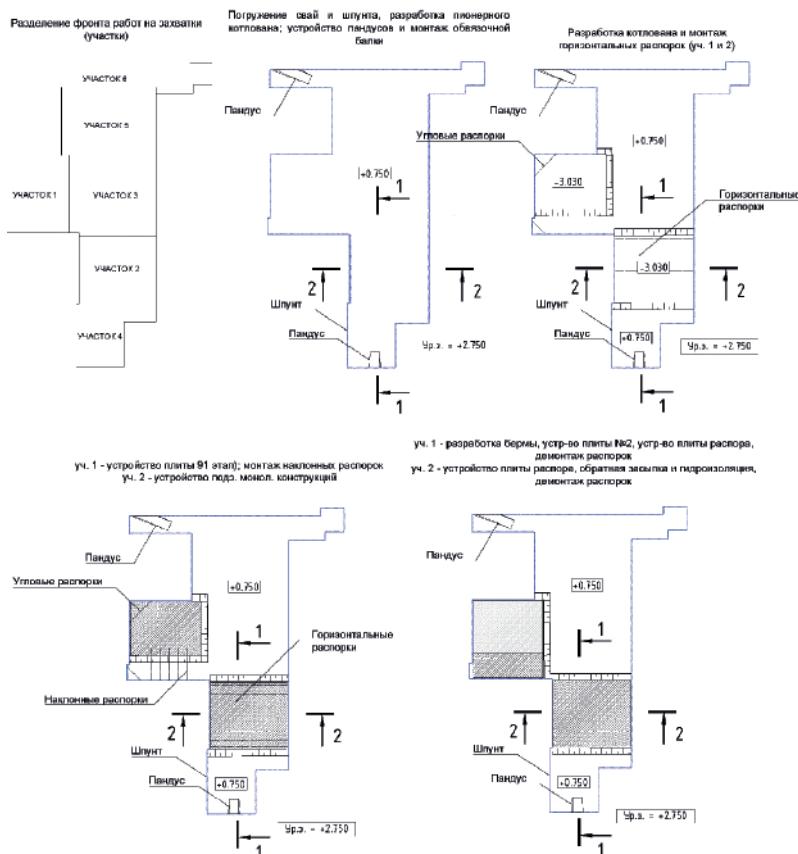


Рис. 8. Рекомендованная технологическая последовательность производства работ и разделение фронтов работ

1-1

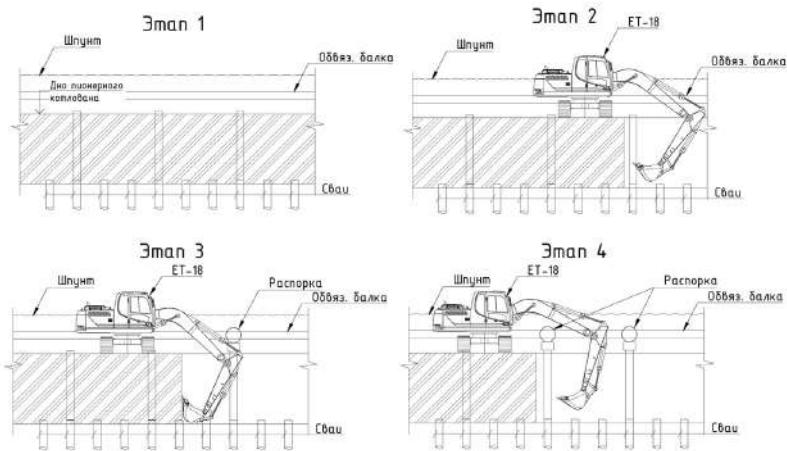


Рис. 9. Технологическая последовательность разработки котлована и монтажа горизонтальных распорок

Рекомендуемая этапность производства работ устройства ограждения котлована с целью установки распорной системы в заданных (рекомендуемых ранее) условиях (рис. 10):

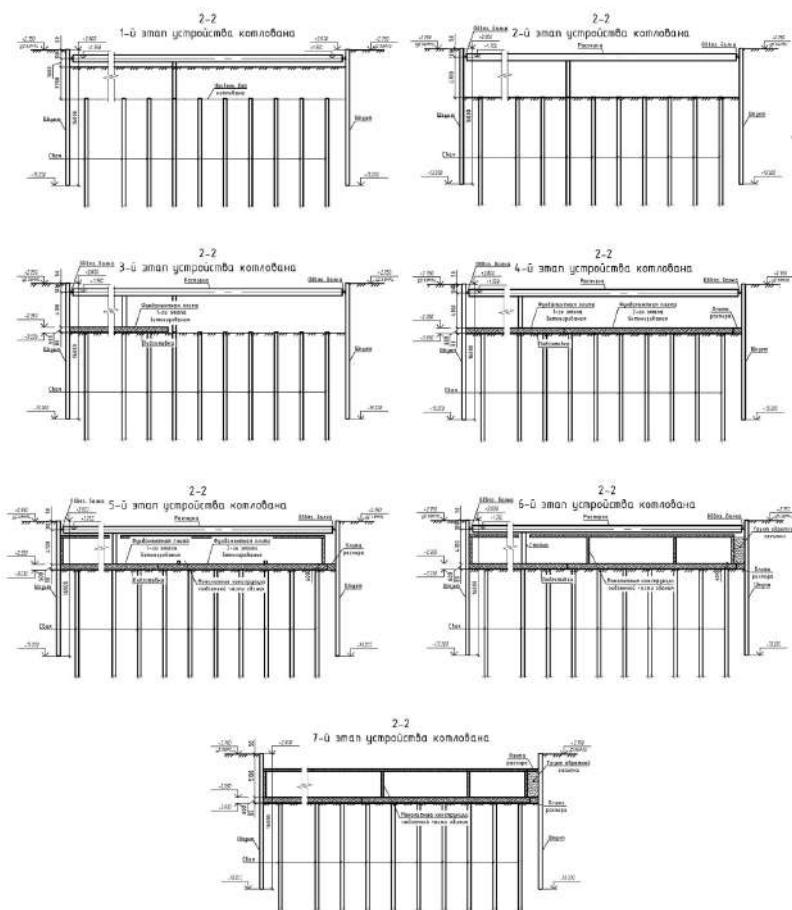


Рис. 10. Технологическая последовательность монтажа распорной системы шпунтового ограждения

### Заключение

В ходе исследования проанализированы ключевые технологические, геотехнические и гидрогеологические факторы, влияющие на организационно-технологические решения нулевого цикла в условиях плотной городской застройки. На примере объекта

на Васильевском острове обоснован выбор схемы ТС-2, предусматривающей выполнение работ с бровки котлована без движения техники по дну. Разработана поэтапная технологическая последовательность с разделением котлована на участки и учётом монтажа ограждающих и подземных конструкций. Полученные решения направлены на обеспечение устойчивости, минимизацию рисков и могут быть применены на аналогичных объектах.

### Литература

1. Гусев Н. И. Организация строительных процессов при возведении нулевого цикла здания/ Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 128 с.
2. Кочеткова М. В., Янгуразов Ю. Р. Варианты технологических схем при возведении нулевого цикла здания // Образование и наука в современном мире. Инновации, № 1, 2017. – С. 339–344.
3. Белова Т. В. Повышение эффективности защиты окружающей среды от загрязнения отходами строительства / Т. В. Белова, А. А. Болотова // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2013. – № 4. – С. 92–101.
4. Мангушев Р. А. Проектирование и технология устройства котлованов вблизи соседних зданий / Р. А. Мангушев, В. В. Конюшков, С. В. Ланько. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – 75 с.
5. Изотов В. С. Основы технологии строительных процессов : учебное пособие / В. С. Изотов, Л. С. Сабитов, Р. Х. Мухаметрахимов. – Казань : Казанск. гос. архит.-строит. ун-т, 2013. – 103 с.
6. Ильичев В. А., Знаменский В. В., Морозов Е. Б. Опыт устройства котлованов при возведении зданий и сооружений в стесненных условиях города Москвы // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4–2. – С. 222–230.
7. Бойко Н. В. Технология, организация и механизация свайных работ / Н. В. Бойко. – М. : Стройиздат, 1987. – 606 с.
8. Брод И. И. Струйная геотехнология. – М. : ACB, 2004. – 448 с.
9. Мотылев Р. В. Учебно-методическое пособие для дипломного проектирования по кафедре организации производства и экономики строительства (для строительных специальностей) / Р. В. Мотылев [и др.] ; под ред. А. Н. Бирюкова. – Санкт-Петербург : ВИТУ, 2008. – 144 с.
10. Субботин Е. В. Факторы, влияющие на продолжительность строительства в стесненных условиях/ Е. В. Субботин, А. А. Руденко. – Текст: непосредственный // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства: сборник статей межвузовской научно-практической конференции [19 апреля 2024 года] / Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. СПб., 2024. – С.78–85.

11. Молодцов М. В. Организация производственной деятельности : методические указания / М. В. Молодцов, А. А. Руденко, Р. В. Мотылев, Н. В. Розанцева. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. – 58 с.
12. Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения / С. В. Ланько [и др.] ; под ред. : В. А. Ильичёва, Р. А. Мангушева. – Москва : АСВ, 2014. – 728 с.

## **СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 699.841**

Данил Ахметшакиров,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: adanil.73@mail.com*

Danil Akhmetshakirov,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: adanil.73@mail.com*

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО МОНТАЖУ СЕЙСМОИЗОЛЯТОРОВ**

### **TECHNOLOGY OF INSTALLATION WORK SEISMIC ISOLATORS**

Статья посвящена вопросам применения технологии сейсмоизоляторов для уменьшения влияния негативных последствий разрушительных землетрясений на здания и сооружения. Рассмотрены наиболее распространённые типы сейсмоизоляторов, их технические особенности, описания принципов действия, достоинства и недостатки. Описан принцип выбора типа и количества сейсмоизоляторов, при проектировании объектов, исходя из вводных параметров здания, данных сейсмической разведки и геологических изысканий. Приведено подробное описание последовательности технологических процессов при производстве работ по монтажу сейсмоизоляторов, на примере установки сейсмоизолятора со сферической поверхностью серии FP, при монтаже в основание железобетонной конструкции и при креплении к металлическим элементам каркаса.

*Ключевые слова:* сейсмическая опасность, защита от воздействия, сейсмоизоляторы, технологический процесс, качество работ, жизнь людей.

The article is devoted to the application of seismic isolator technology to reduce the negative effects of devastating earthquakes on buildings and structures. The most common types of seismic isolators, their technical features, descriptions of the principles of operation, advantages and disadvantages are considered. The principle of choosing the type and number of seismic isolators in the design of facilities is described, based on the introductory parameters of the building, data from seismic

exploration and geological surveys. A detailed description of the sequence of technological processes in the production of work on the installation of seismic isolators is given, using the example of installing a seismic isolator with a spherical surface of the FP series, when mounted in the base of a reinforced concrete structure and when attached to metal frame elements.

*Keywords:* seismic hazard, impact protection, seismic isolators, technological process, quality of work, people's lives.

Землетрясения, вследствие своей непредсказуемости и большой разрушительной силы, являются одним из самых опасных явлений природы. Защита зданий от негативного воздействия землетрясений, является важной задачей, решением которой занимаются многие научные центры всего мира.

Одним из способов снижения последствий землетрясений является метод сейсмоизоляции с помощью установленных изолаторов между фундаментом здания и грунтом или внутри конструкции сооружения.

Существуют несколько типов изолаторов, например:

1. Резинометаллические изолаторы.

Резинометаллические изолаторы представляют собой многослойные конструкции состоящие из чередующих слоёв резины и металла. Они обладают высокой гибкостью и способны эффективно гасить горизонтальные колебания грунта. Преимуществами таких видов изолаторов являются: высокая надёжность и долговечность, простота монтажа и обслуживания. К недостаткам относятся ограниченная возможность выдерживать вертикальную нагрузку.

2. Гидравлические демпферы.

В этих изолаторах используется принцип гидравлического сопротивления жидкости для поглощения энергии колебаний. Такие устройства обеспечивают эффективное снижение динамических воздействий землетрясений. К преимуществам можно отнести высокий уровень энергоёмкости, эффективность к различным направлениям колебаний, к недостаткам: сложность конструкций и необходимость регулярного технического обслуживания.

3. Фрикционные изоляционные устройства. Принцип работы основан на создании сухого трения между подвижными элементами

конструкций, позволяющий снизить ускорение верхних этажей здания относительно фундамента. Преимущества: компактность и простота конструкции, низкая стоимость производства и монтажа, устойчивость к длительным статическим нагрузкам.

Технология производства работ по монтажу сейсмоизоляторов состоит из следующих этапов:

1. Проектирование.

На данном этапе производиться выбор типа, количества сейсмоизоляторов, исходя из следующих вводных параметров:

- Геометрические размеры здания,
- Данные по сейсмической активности региона,
- Конструктивные и объёмно-планировочный решения здания,
- Результаты геологических изысканий по составу грунтов и глубине залегания грунтовых вод.

2. После изготовления и поставки сейсмоизоляторов, проводится предварительная проверка, которая выполняется согласно процедурам утверждённым Заводом изготовителем, и включает в себя как правило следующее:

- Контроль соответствие предоставленных данных (идентифицирующих отметок и основных габаритов, то есть высоты, ширины и длины), указанных на утверждённых чертежах.
- Проверка на видимые повреждения, наличие защиты от коррозии защиты от пыли.
- Проверка целостности упаковки, транспортного крепежа.

3. Монтаж.

В качестве примера технологии производства работ будет рассмотрена последовательность технологических операций по монтажу сейсмоизолятора со сферической поверхностью FP.

3.1. Установка:

- Крепление опорной пластины к нижней опоре, используя цементную подливку и создание основания (рис. 1) происходит в два этапа:
  - Расположение опорной пластины по осям, отметкам, уровню, согласно проекту.

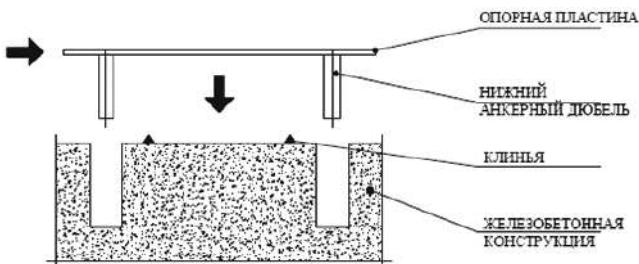


Рис. 1. Установка пластины в бетонную конструкцию

3.2. Заполнение цементным раствором нижнего анкерного крепления и создание выравнивающего слоя.

3.3. Механическое крепление устройства к закладной опорной пластины (рис. 2). Перед установкой необходимо тщательно очистить верхнюю поверхность опорной пластины. Устройство устанавливается на закладную платину и закрепляется с помощью прилагаемых винтов в резьбовые отверстия гильз (рис. 3).

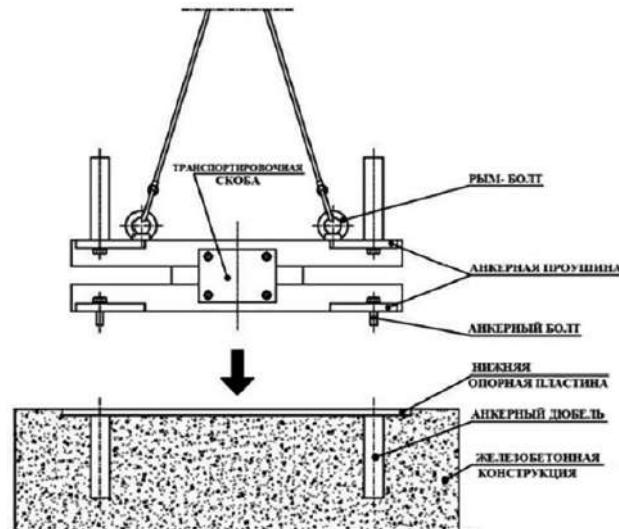


Рис. 2. Установка устройства на поверхности закладной пластины



Рис. 3. Изолятор прикреплён к нижней закладной пластине

Крепление к монолитному железобетонному элементу надземной конструкции. До выполнения анкеровки верхние гильзы закладной детали должны быть прикреплены к устройству.

Подготавливается опалубка, она должна быть точно подогнана по периметру верхней плиты устройства, для того чтобы избежать повреждения или заглубления изолятора в бетон, что затруднит его возможную замену. Выполняется армирование верхней части конструкции.

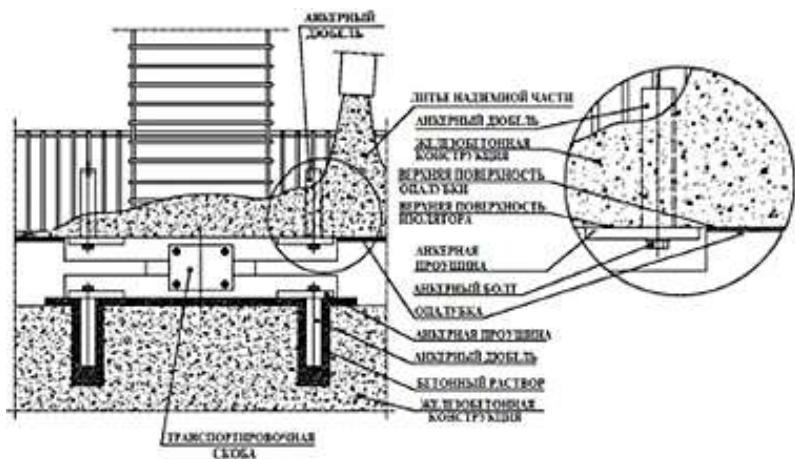


Рис. 4. Схема бетонирования верхней конструкции

Производится бетонирование и демонтаж опалубки, после полного затвердевания бетонного раствора.



Рис. 5. Установка после завершения бетонирования

При креплении к стальной конструкции работы по выполнению опалубочных, армированных и бетонных работ не производятся.



Рис. 6. Вариант крепления к стальной надземной конструкции

#### 4. Ввод в эксплуатацию.

При вводе в эксплуатацию удаляются временные скобы, захваты изолятора. Проводятся измерения следующих параметров:

- Объем перемещения,
- Поворот устройства,
- Состояние антакоррозийной защиты,
- Температурный режим.

При производстве работ по монтажу сейсмоизолятов необходимо строго соблюдать технологию последовательности работ, согласно требованиям завода изготовителя и проектной документации. Контролировать точность геодезических измерений, качество сопутствующих материалов, особенно состав бетонной смеси. Следить за чистотой на месте производства работ, выполнять требования по грузоподъёмным работам и технике безопасности.

Применение системы сейсмоизоляции является эффективным методом обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений.

Правильно выбранный тип сейсмоизоляторов, соблюдение технологии и качества монтажа этих изделий позволяют значительно снизить воздействие землетрясений на здание, сохранить его эксплуатационные свойства, сохранить жизнь людей.

### **Литература**

1. Проектирование высотных зданий : учебное пособие / В. Р. Мустакимов, С. Н. Якупов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архит.-строит. ун-та, 2014.
2. Основы сейсмостойкого строительства : учебное пособие / В. Л. Харланов. Волгоградский. гос. архит.-строит. ун-т, 2016.
3. СП 50-101–2004. Свод правил по проектированию и устройству оснований и фундаментов зданий и сооружений.

**УДК 658.5**

Дарья Константиновна Батырева,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: dashabatyreva@gmail.com*

*Daria Konstantinovna Batyreva,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: dashabatyreva@gmail.com*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИЕВ К ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ**

### **FORMATION OF THE MAIN PARAMETERS AND CRITERIA FOR THE INFORMATION MODEL WHEN ORGANISING CONSTRUCTION AT DIFFERENT STAGES OF THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS**

В статье рассматриваются ключевые параметры и критерии формирования информационной модели (ИМ) при организации строительства на различных этапах жизненного цикла, основываясь на положениях СП 333.1325800.2020. Жизненный цикл объекта включает в себя этапы от инженерных изысканий до сноса и утилизации объекта. Также отмечаются отдельно этапы промежуточной валидации и верификации модели для обеспечения качества и пригодности к практическому применению. Информационная модель рассматривается как многофункциональный инструмент, соответствующий концепциям информационных моделей ТИМ 4D и выше. В заключении подчеркивается значение информационной модели при организации строительства как основы цифровой трансформации.

*Ключевые слова:* организация строительства, жизненный цикл здания, информационная модель, цифровая трансформация, интеллектуальные технологии, искусственный интеллект.

The article discusses the key parameters and criteria for the formation of information model (IM) in the organization of construction at various stages of the life cycle, based on the provisions of SP 333.1325800.2020. The life cycle of an object includes stages from engineering surveys to demolition and utilization of the object. The stages of intermediate validation and verification of the model to ensure

quality and suitability for practical application are also noted separately. The information model is considered as a multifunctional tool, which corresponds to the concepts of information models of TIM 4D and higher. The conclusion emphasizes the importance of the information model in construction organization as a basis for digital transformation.

*Keywords:* construction organization, building life cycle, information model, digital transformation, intelligent technologies, artificial intelligence.

Организация строительства представляет собой комплекс взаимосвязанных процессов, направленных на реализацию строительного проекта. В современном крупном строительстве данный процесс невозможно инициировать без системной поддержки, основанной на цифровых технологиях. Благодаря интеграции различных сведений в едином информационном пространстве обеспечивается непрерывность потоков информации и синхронизация рабочих процессов различных участников осуществления строительной деятельности.

Согласно нормативному документу СП 333.1325800.2020 «Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» от 1 июля 2021 года информационная модель (ИМ) объекта капитального строительства представляет собой совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде [1].

СП 333.1325800.2020 выделяет следующие этапы: инженерные изыскания (уровень А), архитектурно-строительное проектирование (уровень В), строительство, реконструкция, капитальный ремонт реконструкция, капитальный ремонт (уровень С1 и С2), эксплуатация (уровень D), снос и утилизация объекта капитального строительства (уровень G) [1].

Для обеспечения информационной моделью функции сквозной системы управления данными необходимо на каждом этапе учитывать требования к содержанию, детализации и поддержании актуальности модели.

Исходная информация для каждого текущего уровня информационной модели должна содержаться и соответствовать каждому предшествующему уровню ИМ. На различных этапах жизнен-

ного цикла здания при организации строительства ИМ выполняет и функции источника данных, и одновременно инструмента интерпретации информации, источника процессов анализа, прогнозирования и поддержки принятия решений.

Для уровня А источником исходной информации будут являться результаты инженерно-геодезических, геологических, гидрометеорологических, экологических и геотехнических изысканий. Основное требование данного уровня – обеспечение полноты и структурированности информации для всего последующего проектирования. Основными критериями являются точность пространственного позиционирования, соответствие геометрической детализации, то есть определение границ элементов, а также наличие обязательных атрибутов элементов. Обязательные атрибуты, присвоенные каждому элементу, отражают параметры, которые представляют собой то, как элемент будет отображаться, взаимодействовать и содержать характерную информацию о нем. Каждый элемент объекта может содержать один или несколько атрибутов, которые определяются техническим заданием или нормативной базой [4].

В модель текущего уровня входят архитектурные, технические и технологические проектные решения. Таким образом, обоснованием решений служит инженерная цифровая модель местности (ИЦММ) уровня А. Ключевыми параметрами являются структурированность по этажам и функциональными зонам, включение проектных решений по конструкциям, инженерными системам и материалам, детализация по узлам сопряжения, то есть проработка до уровня конкретных деталей и конструктивных решений, из которых в дальнейшем можно получить спецификации всех элементов узла или зоны соединения различных строительных элементов между собой.

Этап «строительство» объединяет в себе два уровня С1 и С2. Строительная модель уровня С1 содержит сведения, необходимые для выполнения строительно-монтажных работ, в то время как исполнительная модель уровня С2 отражает фактические параметры объекта после непосредственного выполнения работ, что служит обоснованием для проведения государственного строительного

контроля и надзора. Параметрами обоих уровней являются наличие привязки к реальным материалам, поставкам и графикам, отражение отклонений от проектных решений и точная геометрическая детализация, что необходимо для расчета объемов работ. Критериями являются непротиворечие, соответствие данных модели предыдущим уровням и их полнота для пригодности и ввода объекта капитального строительства в эксплуатацию.

Модель уровня D обеспечивает цифровую поддержку обслуживания, ремонта и модернизации объекта, также данный уровень включает разработку паспорта оборудования, технических карт технологического обслуживания, поддержание сроков обслуживания и гарантийных обязательств. Все данные предыдущего этапа С2 актуализируются в соответствии с поступающей информацией об объекте, в модель включается информация об эксплуатационных режимах, необходимо обеспечить доступность модель для цифровых платформ, при помощи которых возможно управление объектом в течение всего текущего этапа жизненного цикла до его завершения.

На завершающем уровне из всего существующего потока данных создается модель сноса и демонтажа, которая содержит проект, привязанный данным о материалах, конструкциях и строительной технике.

Создание такой модели основывается на наличии информации о составе конструкций, из которых выделяются вредные и опасные материалы, помимо этого должна быть обеспечена корректность логистики разборки и утилизации. Модель текущего уровня должна быть совместима с системой хранения архивных моделей, что достигается как соответствием наполненных данных, так и соответствием формата самого файла.

Несмотря на связанность этапов для обеспечения применимости модели в практической деятельности необходима промежуточная проверка качества и пригодности ИМ, достигающейся через два этапа – верификация и валидация модели. Для достижения соответствия модели высокому качеству и детализации, общими требованиями можно выделить полноту данных, отсутствие коллизий, соответствие нормам, обеспечение согласованности с предыдущими

уровнями и наличие обязательных атрибутов, отражающих полностью свойств каждого элемента.

Качественная цифровая модель объекта представляет собой многофункциональный управленческий инструмент. Управление объектом идет по нескольким направлениям: техническим, экономическим, временными, экологическим, эксплуатационным, что соответствует концепция ТИМ 4D, 5D, 6D и так далее, обеспечивая и обоснованность решений различной направленности на протяжении владения объектом, и эффективность инвестиционного цикла объекта капитального строительства при организации строительства [2].

Подобная цифровая модель, содержащая перечисленные требования, становится основой для последующей цифровой трансформации, выступая инструментом не только для координации проектных и строительных решений, но и для поддержки стратегических управленческих решений на протяжении всего жизненного цикла объекта при организации строительства. С этой позиции особое значение приобретает возможность использования информационной модели в качестве базы для интеллектуальных технологий, способствующих сохранению соответствия необходимым требованиям и параметрам для достижения устойчивого развития процесса организации строительства.

### **Литература**

1. СП 333.1325800.2020. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. Введ. 01.07.2021. – М. : Минстрой России, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514520/> (дата обращения: 26.06.2025).
2. ГОСТ Р 10.0.01–2018. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Термины и определения // Стандартинформ. – 2019.
3. Кужин М. Ф., Сафонов С. С. Информационное моделирование в организациях строительного производства // Системные технологии. – 2018. – № 4(53).
4. Ворона-Сливинская Л. Г., Янковская Е. С. Тренды развития ключевых отраслей экономики Санкт-Петербурга: статистический анализ, методические проблемы, нормативно-правовая база управления //Аграрное и земельное право. 2024. № 4(232). С. 42–46.

**УДК 69.05**

Виктория Владимировна Вольская,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: vivolsky@yandex.ru*

*Viktoriya Vladimirovna Volskaya,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:vivolsky@yandex.ru*

## **УМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В РАЗВИТИИ ГОРОДОВ**

### **SMART CONSTRUCTION: THE ROLE OF DIGITALIZATION IN URBAN DEVELOPMENT**

В условиях глобальной урбанизации и цифровизации создание «умных городов» становится ключевым направлением устойчивого развития. Россия, как и другие страны, сталкивается с вызовами: рост населения городов, экологические проблемы, устаревшая инфраструктура. Внедрение инновационных строительных технологий, бионической архитектуры и цифровых решений позволяет повысить качество жизни, оптимизировать ресурсы и создать комфортную среду. Исследование актуально для архитекторов, урбанистов и государственных структур, занимающихся реновацией и развитием городов.

Цель работы заключается в анализе развития умных городов в контексте строительства, включая изучение инновационных материалов и технологий, оценку применения цифровых решений в строительстве, определение перспектив развития «умного строительства» в России на ближайшее десятилетие.

*Ключевые слова:* умный город, градостроительство, цифровизация, урбанистика, инновации в строительстве, умные материалы, технологии строительства.

In the context of global urbanization and digitalization, the creation of “smart cities” is becoming a key area of sustainable development. Russia, like other countries, is facing challenges: urban population growth, environmental problems, and outdated infrastructure. The introduction of innovative construction technologies, bionic architecture and digital solutions makes it possible to improve the quality of life, optimize resources and create a comfortable environment. The research is relevant for architects, urbanists, and government agencies involved in urban renovation and development.

The purpose of the work is to analyze the development of smart cities in the context of construction, including the study of innovative materials and technologies, the assessment of the use of digital solutions in construction, and the identification of prospects for the development of smart construction in Russia for the next decade.

*Keywords:* smart city, urban planning, digitalization, urbanism, innovations in construction, smart materials, construction technologies.

### **Задачи исследования**

- Исследование предпосылок формирования и этапов развития концепции «умного города»;
- Анализ ключевых аспектов «умного строительства» (бионическая архитектура, умные материалы, технологии);
- Анализ всех этапов реализации строительного проекта с учетом внедрения цифровых технологий;
- Определение наиболее перспективных направлений развития интеллектуальных городских систем в Российской Федерации.

### **Методы исследования**

1. Анализ литературных источников – изучение научных статей, докладов, нормативных документов;
2. Сравнительный анализ – сопоставление зарубежного и российского опыта внедрения умных технологий в строительство;
3. Структурная декомпозиция – разбор «умного города» на ключевые компоненты;
4. Case-study – анализ успешных кейсов строительства умных городов;
5. Экспертная оценка – интервью с профессионалами в области урбанистики и строительства.

### **Научная новизна**

- Систематизация современных технологий строительства умных городов.
- Разработка структурной декомпозиции для анализа проектов.
- Прогноз развития умных городов в России с учетом климатических, экономических и социальных факторов.

### **История и предпосылки развития концепции «умного города»**

1990–2000 – «Умный город» как концепция появился в США, синоним «зеленых технологий», экологичности.

2000–2010 – Пользователей кабельного доступа к интернету стало меньше пользователей интернета, которые обменивались данными посредством радиоволн. Быстрый темп роста городского населения.

2010–2020 – На базе слияния цифровизации и урбанистики появился «Умный город» как глобальная система, включающая в себя (по определению Frost&Sullivan) 8 ключевых аспектов:

- «Умное» управление
- «Умный» дом
- «Умная» инфраструктура
- «Умное» здравоохранение
- «Умная» энергетика
- «Умная» мобильность
- «Умная» технология
- «Умный» гражданин

2020–2030 – Развитие «умных» городов и регионов, строительство «умных» городов с нуля. Реорганизация целеполагания.

### **Структурная декомпозиция «умного города»**

Для анализа применения инновационных решений и технологий в процессе реализации строительных проектов была разработана структурная декомпозиция «умного города», представленная на рис. 1. Предложенная структура сформирована согласно концепции проекта цифровизации городского хозяйства «Умный город», утвержденной приказом Минстроя.

На рис. 2 более детально представлены технологии, применяемые в рамках умного города для строительства зданий и сооружений. Жизненный цикл проекта строительства изображен на рис. 3.

В ходе работы проанализированы и сопоставлены технологии и этапы работ:

- Инновации:
  - Использование цифровых двойников (Digital Twins) для моделирования города на основе Big Data (климат, транспортные потоки, энергопотребление);
  - Генеративный дизайн на базе ИИ, подбирающий оптимальные архитектурные решения с учетом экологии и стоимости;

- Роботизация: автономная техника (дроны для мониторинга, 3D-принтеры для печати конструкций);
- Циркулярная экономика: переработка бетона в новые материалы;
  - Децентрализованные энергосистемы.
- Технологии:
  - BIM/TIM-технологии – создание 3D-моделей с интеграцией данных о материалах, инженерии и сроках;
  - ГИС-системы для анализа территории (геология, инфраструктура);
  - IoT-датчики для контроля параметров стройки (влажность, нагрузка, безопасность);
    - Демонтажные роботы с сортировкой отходов;
    - Датчики износа для прогнозирования ремонта;
    - Умные счетчики воды/электричества с AI-аналитикой;
    - Платформы управления.
- Умные материалы:
  - Самоочищающийся бетон;
  - Фасады с фотоэлектрическими панелями.
- Адаптивные системы:
  - Динамическое освещение улиц (экономия энергии до 40 %);
  - Умные сети (Smart Grid) с балансировкой нагрузки;
  - Бионические решения: зеленые стены для очистки воздуха.

Соотношение работ представлено на рисунке 4.

Каждая стадия жизненного цикла требует уникального сочетания инноваций и технологий:

Проектирование: AI + BIM.

Строительство: Роботы + IoT.

Эксплуатация: Smart Grid + бионические системы.

Реновация: Циркулярные технологии.

Перспектива для России: Внедрение таких решений в pilotных проектах с адаптацией к холодному климату. В 2020 году Президентом РФ утверждена Стратегия развития Арктической зоны России до 2035 года. В рамках которой рассматриваются более 600 идей и проведены более 10 заседаний.

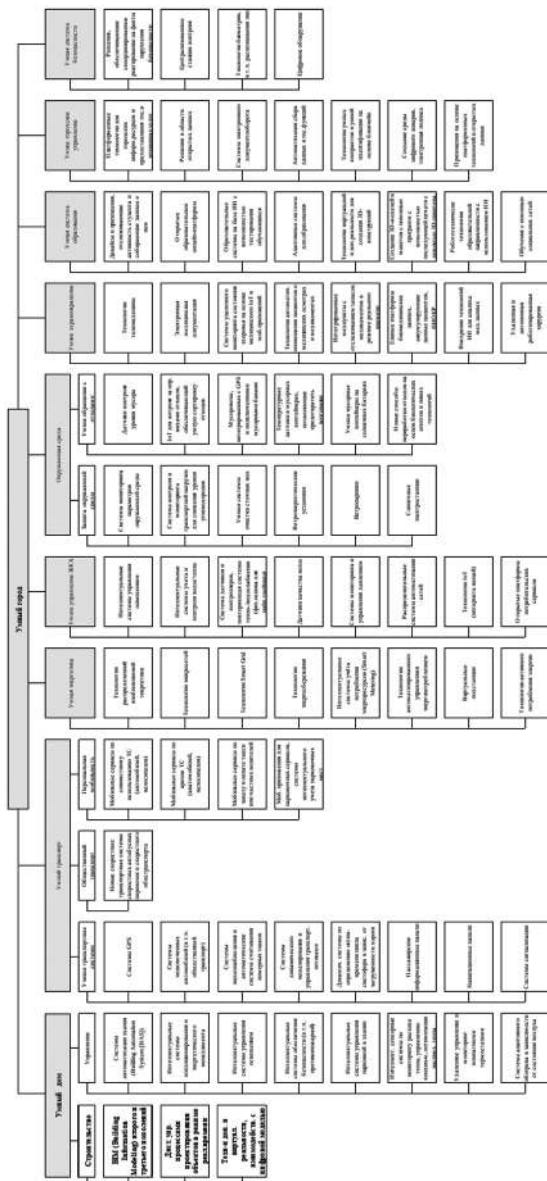


Рис. 1. Структурная декомпозиция «умного города»



Рис. 2. Технологии строительства «умного города»

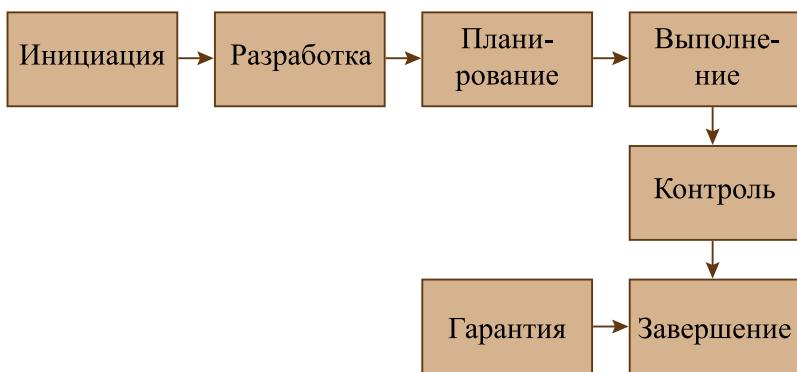


Рис. 3. Жизненный цикл строительного проекта

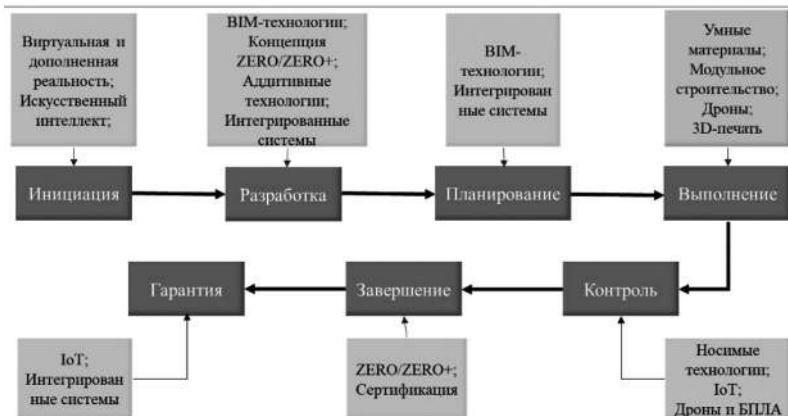


Рис. 4. Применение технологий «умного города»

### Заключение

Исследование подтвердило, что строительство умных городов требует комплексного подхода, объединяющего инновационные материалы, цифровые технологии и устойчивое развитие. Перспективы России связаны с реновацией существующих городов и созданием новых проектов.

### Литература

1. Умные города: большие данные, гражданские хакеры и поиски новой утопии / Энтони Таунсенд; перевод с английского Анны Шоломицкой. – Москва : Изд-во Института Гайдара, 2019. – 398 с.; 25 см. – (Библиотека урбаниста).
2. Егоров А. Н., Йордановска Д., Петриков М. В. Строительство зданий в инновационной среде умного города // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 3(92). С. 80–87.
3. Попов Е. В., Семячков К. А., Борисов Д. Н. Эффективность проектов развития умных городов // ЭКО. 2023. № 6. С. 32–49. DOI:10.30680/ECO0131-7652-2023-6-32-49.
4. Захарова С. А. Публичное управление умными городами: европейский опыт // Цифровая социология. 2022. Т. 5, № 1. С. 36–43.
5. Семячков К. А. Дерево исследований умных городов // Вестник Пермского университета. Сер. : Экономика. 2022. Т. 17, № 4. С. 404–428. DOI: 10.17072/1994-9960-2022-4-404-428.

6. Заренков В. А. Управление проектами / В. А. Заренков; худ. Тихомиров В. И. – Санкт-Петербург : Созидающий мир, 2021. – 315 с.

7. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в российских городах : экспертно-аналитический доклад / А. С. Кузьмина, М. С. Липецкая, Е. А. Римских [и др.] ; Центр стратегических разработок. – Москва : [б. и.], 2018. – 173 с.

8. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.12.2020, Программа «Умный город»: этапы реализации. – 2021.

9. Указ Президента Российской Федерации № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечении национальной безопасности на период до 2035 года» от 26.10.2020.

**УДК 625.08**

Александра Евгеньевна Гукова,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: a-soon@bk.ru*

*Alexandra Evgenievna Gukova,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: a-soon@bk.ru*

## **АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО ИЗНОСА И АВАРИЙНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

### **ACCIDENT RATE ANALYSIS IN THE HOUSING STOCK OF ST. PETERSBURG**

Статья посвящена критической проблеме роста аварийности в жилищном секторе Санкт-Петербурга, обусловленной прогрессирующим износом зданий, что особенно остро проявляется в районах с исторической застройкой. Увеличение демографической нагрузки в мегаполисе превышает проектные возможности сооружений. Исследование систематизирует жилые объекты по эпохам строительства (дореволюционные, советские, новые комплексы), исследуя применяющиеся технологии, длительность использования и специфические характеристики.

Выявленные риски деструкций обосновывают потребность в регулярном мониторинге технического состояния. Предложен перечень практических мероприятий для оптимизации эксплуатации и сохранения исторического жилфонда и городской инфраструктуры. Важным аспектом является оценка эффективности реализуемых программ обновления жилья для гарантии безопасности горожан.

*Ключевые слова:* аварийность, реконструкция, старый фонд.

The article addresses the critical problem of increasing accidents/emergencies in the housing sector of St. Petersburg, caused by the progressive deterioration of buildings, which is particularly acute in areas with historic development. The growing demographic pressure in the metropolis exceeds the structural capacity of the buildings. The study classifies residential buildings by construction era (pre-revolutionary, Soviet-era, new complexes), examining the construction technologies used, duration of use, and specific characteristics.

The identified risks of structural failures justify the need for regular monitoring of the technical condition. A list of practical measures is proposed to optimize

the operation and preservation of the historic housing stock and urban infrastructure. An important aspect is the evaluation of the effectiveness of ongoing housing renewal programs to ensure citizen safety.

*Keywords:* accident rate, reconstruction, historic building stock.

Санкт-Петербург, известный как культурный центр России, благодаря своему величественному архитектурному наследию, сталкивается с проблемой устаревания и разрушения жилого фонда. Вопрос обеспечения жильем нуждающихся занимает центральное место среди актуальных социальных, экономических и планировочных вызовов для крупного города.

Небезопасные строения несут непосредственную опасность для жителей города, негативно влияют на городскую среду, препятствуют развитию районов. Статья фокусируется на всестороннем исследовании уровня аварийных ситуаций в жилом секторе Санкт-Петербурга, включая их объемы, корни возникновения, пространственное распределение, текущие программы переселения и возможные пути преодоления данной проблемы [1].

## 1. Масштабы и Динамика Проблемы (рис. 1)

По состоянию на конец 2023 – начало 2024 года официальная статистика рисует сложную картину:

- **Объем аварийного фонда:** В Санкт-Петербурге признано аварийным и подлежащим сносу более **1,5 млн квадратных метров жилья**. Это составляет значительную долю от всего жилищного фонда города (оценка общего фонда ~ 220 млн кв. м).

- **Количество домов:** Аварийный статус присвоен более чем **1000 жилым домам**.

- **Проживающие:** В этих домах проживают десятки тысяч петербуржцев, часто в условиях, не отвечающих минимальным санитарным и техническим нормам.

- **Динамика:** несмотря на активные программы расселения (о них ниже), проблема не решается кардинально. Причины:

- **Физическое старение:** Постоянное пополнение фонда за счет старения зданий, особенно послевоенной постройки (1950–1970-е гг.) и ветхого дореволюционного фонда.

- **Уточнение статуса:** Выявление ранее неучтенных аварийных зданий в ходе мониторинга и обследований.
- **Ограниченные темпы расселения:** Мощности строительной отрасли и финансирование не всегда успевают за потребностями [2].



Рис. 1. Структура аварийного жилищного фонда Санкт-Петербурга

## 2. Причины Аварийности (рис. 2)

Проблема имеет глубокие исторические и системные корни:

### 1. Культурное достояние:

В дореволюционных районах (Петроградский район, Васильевский остров, исторический центр) преобладают здания, построенные в период с конца XVIII по начало XX века.

Многие из них изначально строились как доходные дома с упрощенными конструкциями, подвержены естественному износу, имеют устаревшие инженерные системы и фундаменты, не рассчитанные на современные нагрузки. Войны и блокада нанесли колоссальный урон.

### ● Послевоенное восстановление:

Массовое строительство 1950–1970-х гг. («хрущевки», ранние панельные серии) велось в условиях острого дефицита времени и ресурсов. Использовались не всегда качественные материалы, упрощенные технологии, зачастую без должного учета сложных грун-

тов Петербурга. Срок эксплуатации многих серий изначально был рассчитан на 30 лет.

● **Конструктивные и технологические дефекты:**

– **Недостатки проектов:**

Ошибки в проектировании фундаментов для слабых петербургских грунтов, неэффективная гидроизоляция.

– **Низкое качество строительства:**

Нарушения технологий при возведении, использование некондиционных материалов (особенно в панельном домостроении).

– **Коррозия арматуры:** Влажный климат и недостаточная защита приводят к разрушению несущих железобетонных конструкций.

– **Износ инженерных сетей:** Водопровод, канализация, теплосети в аварийных домах часто находятся в предаварийном состоянии, усугубляя ситуацию.

● **Эксплуатационные факторы:**

– **Недофинансирование капремонта:**

Десятилетия недостаточных вложений в своевременный и качественный капитальный ремонт привели к накоплению износа.

– **Низкая эффективность управления:**

Проблемы в работе некоторых управляющих компаний (УК), ТСЖ, несвоевременное устранение мелких неисправностей, ведущих к серьезным повреждениям.

– Антропогенное воздействие:

Самовольные перепланировки жильцов, ослабляющие несущие конструкции, протечки из-за небрежности.

● **Внешние воздействия:**

– **Сложные грунты и подтопления:**

Высокий уровень грунтовых вод, просадки грунта, подтопление подвалов разрушают фундаменты.

– **Вибрация:** от транспорта (особенно метро) и строительства на соседних участках [3].



Рис. 2. Основные причины аварийности жилых зданий в СПб

### 3. Территориальное Распределение

Аварийный фонд распределен по городу неравномерно, но присутствует во всех районах:

- Центральные и Исторические Районы (Центральный, Петроградский, Василеостровский, Адмиралтейский): преобладает дореволюционный фонд и ранние «сталинки». Проблемы: износ несущих конструкций, ветхие перекрытия, разрушающиеся фасады, аварийные подвалы из-за грунтовых вод. Расселение здесь особенно сложно и дорого из-за исторической ценности части зданий и плотности застройки.

- «Пояс хрущевок» (Калининский, Выборгский, Красногвардейский, Невский, Фрунзенский, Московский и др.): Основной объем аварийного фонда сконцентрирован здесь. Это массовые серии 1-335, 1-507, К-7, II-32 и др., чей срок эксплуатации подошел к концу. Проблемы: разрушение панельных швов, коррозия арматуры в плитах перекрытия и несущих стенах, неудовлетворительное состояние кровель и инженерных систем.

- Периферийные Районы (Красносельский, Петродворцовый, Курортный, Колпинский): встречаются как ветхие индивидуальные дома, так и проблемные здания советской постройки. Могут быть специфические проблемы, связанные с заболоченностью или близостью промышленных зон.

#### **4. Программы Расселения и Реновации: Достижения и Проблемы [4]**

Санкт-Петербург активно реализует программы по переселению граждан из аварийного жилья, в основном в рамках федерального проекта «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» (входит в нацпроект «Жилье и городская среда») и городских программ.

- Механизмы:
  - Предоставление нового жилья: В собственность или по договору социального найма в новых домах, построенных городом или инвесторами.
  - Выкупная цена: Предоставление денежной компенсации для самостоятельного приобретения жилья (менее распространено в СПб из-за высоких цен).
  - Реновация кварталов: Комплексный снос ветхих домов целого квартала и строительство на их месте современного жилья с инфраструктурой с последующим заселением бывших жителей. (Пилотные проекты в разных районах.)
- Достижения: за последние годы тысячи семей переселены из аварийных условий в новые квартиры. Строятся целые кварталы для расселения.
- Проблемы и Критика:
  - Темпы расселения: не успевают за ростом числа признаваемых аварийными домов и естественным старением фонда.
  - Финансирование: Зависимость от федерального бюджета и необходимость софинансирования городом создают риски срывов сроков.
  - Локализация нового жилья: Новостройки для расселения часто расположены на окраинах, что не всегда устраивает жителей центральных районов, теряющих привычную социальную инфраструктуру.
  - Качество нового жилья: периодически возникают жалобы на качество построенных для расселения домов.
  - Сложности с ветхим фондом в историческом центре: Нахождение баланса между расселением, сносом

и сохранением исторического облика города – крайне сложная задача.

– Прозрачность: периодически возникают вопросы о прозрачности формирования очереди и распределения жилья.

## **5. Перспективы и Рекомендации**

Решение проблемы аварийного жилья в Санкт-Петербурге требует комплексного, долгосрочного и хорошо финансируемого подхода:

1. Ускорение темпов строительства для расселения: Увеличение объемов госзаказа, привлечение надежных инвесторов, упрощение административных процедур для проектов реновации.

2. Интенсификация превентивных мер:

– Мониторинг и диагностика: Систематическое инженерное обследование фонда, особенно зданий 1950–1980-х гг. постройки, с использованием современных методов (георадар, ультразвук и пр.).

– Приоритет капитальному ремонту: Кардинальное увеличение объемов и повышение качества капремонта как основного инструмента продления жизни фонда до перехода в аварийное состояние. Особое внимание – фундаментам, кровлям, фасадам, инженерным системам.

– Технический надзор: Усиление контроля за качеством проводимых ремонтных работ.

3. Совершенствование управления:

– Повышение эффективности УК и ТСЖ: Внедрение современных систем управления МКД, жесткий контроль со стороны жителей и ГЖИ.

– Цифровизация: Создание единой прозрачной цифровой платформы по учету аварийного фонда, очередности, ходу программ расселения и капремонта.

4. Развитие механизмов реновации: Разработка и реализация комплексных программ реновации кварталов с ветхим фондом, предусматривающих не только снос/строительство жилья, но и одновременное создание современной социальной, транспортной и коммерческой инфраструктуры.

5. Дифференцированный подход к историческому центру: Разработка специальных программ и источников финансирования для сохранения и реконструкции ценного исторического фонда, где снос часто невозможен, а реставрация требует огромных средств.

6. Градостроительное планирование: Учет рисков аварийности при планировании новой застройки и инфраструктурных проектов (минимизация вибрационных воздействий, управление водным режимом территорий).

### **Заключение**

Проблема аварийного жилищного фонда остается одним из ключевых вызовов для Санкт-Петербурга. Ее решение – это не только вопрос безопасности и соблюдения прав граждан на достойное жилище, но и условие устойчивого развития города, сохранения его уникального облика и повышения качества городской среды. Несмотря на активные усилия властей, масштабы проблемы требуют еще большей концентрации ресурсов, ускорения темпов расселения, системного подхода к капитальному ремонту и модернизации управления жилищным фондом. Успех возможен только при наличии долгосрочной стратегии, стабильного финансирования, эффективного управления и общественного контроля. Борьба с аварийностью – это инвестиция в будущее города и благополучие его жителей.

### **Литература**

1. Ковальчук Я. С. Меры по улучшению технического состояния домов в Санкт-Петербурге / Я. С. Ковальчук. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 49(235). – С. 355–357.

2. Тилинин Ю. И., Ворона-Сливинская Л. Г. Архитектурно-строительные системы и технологии для крупномасштабного жилищного строительства // Colloquium-Journal. 2019. № 22–1(46). С. 23–25.

3. Юдина А. Ф. Реконструкция и техническая реставрация зданий и сооружений (2010) Academia, 320.

4. Фонд содействия реформированию ЖКХ ([www.reformagkh.ru](http://www.reformagkh.ru)): Отчеты о реализации региональных программ переселения из аварийного жилищного фонда в рамках национального проекта «Жилье и городская среда». Данные по финансированию и объемам расселения в СПб.

**УДК 624.1**

*Анна Сергеевна Жердева,*

магистр

(Санкт-Петербургский

государственный архитектурно-

строительный университет)

*E-mail: anechka.zherdeva@mail.ru*

*Anna Sergeevna Zherdeva,*

Master's degree student

(Saint Petersburg

State University

of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: anechka.zherdeva@mail.ru*

## **ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ**

### **STRUCTURAL DEFECTS OF UNDERGROUND REINFORCED CONCRETE RESERVOIRS**

В статье рассматриваются типы и конструкции железобетонных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, эксплуатируемые в настоящее время. Особое внимание сосредоточено на подземных железобетонных резервуарах, описаны преимущества использования для хранения темных нефтепродуктов. Применение железобетонных резервуаров вместо металлических помимо денежной экономии дает возможность получить экономию в металле [3]. Описаны дефекты образовавшиеся в процессе эксплуатации и категории технического состояния конструкций резервуаров.

*Ключевые слова:* железобетонный резервуар, подземные сооружения, подземный железобетонный резервуар, резервуары для нефти и нефтепродуктов, реконструкция резервуара.

The article discusses the types and designs of reinforced concrete tanks for storing oil and petroleum products currently in operation. Special attention is focused on underground reinforced concrete tanks, and the advantages of using them for storing dark petroleum products are described. The use of reinforced concrete tanks instead of metal ones, in addition to monetary savings, makes it possible to obtain savings in metal [3]. Defects formed during operation and categories of technical condition of tank structures are described.

*Keywords:* reinforced concrete tank, underground structures, underground reinforced concrete reserve, tanks for oil and petroleum products, tank reconstruction.

Резервуар – одна из самых старейших конструкций для хранения жидкостей или газообразных сред. В настоящее время резервуары используют на производстве, и для городских нужд. Эти емкости позволяют хранить запас жидкостей или газов.

В зависимости от вида хранимого вещества резервуары делят на:

- резервуары для нефтепродуктов и нефти;
- резервуары для сжиженного газа, или газгольдеры;
- резервуары для воды;
- резервуары для химических веществ.

В свою очередь резервуары классифицируют по форме в плане, объему, месту расположения, способу изготовления и др. Классификация и конструктивные решения резервуаров представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Классификация резервуаров**

Тип резервуара	Материал	
	Железобетонные	Стальные
По форме в плане	<ul style="list-style-type: none"><li>– круглые (цилиндрические);</li><li>– прямоугольные</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– круглые (цилиндрические);</li><li>– прямоугольные;</li><li>– многоугольные;</li><li>– шаровые и др.</li></ul>
По месту рас- положения	<ul style="list-style-type: none"><li>– подземные;</li><li>– надземные</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– подземные;</li><li>– надземные</li></ul>
По способу изготовления	<ul style="list-style-type: none"><li>– сборные;</li><li>– монолитные;</li><li>– сборно-монолитные</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– цельные;</li><li>– монолитные или сварные;</li><li>– сборные</li></ul>
По хранимым продуктам	<ul style="list-style-type: none"><li>– нефть и нефтепродукты;</li><li>– питьевая, техническая или деминерализованная вода;</li><li>– пожарный запас воды;</li><li>– пищевые жидкости;</li><li>– жидкие удобрения;</li><li>– сточные воды;</li><li>– сыпучие продукты</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– нефть и нефтепродукты;</li><li>– питьевая, техническая или деминерализованная вода;</li><li>– пожарный запас воды;</li><li>– пищевые жидкости;</li><li>– жидкие удобрения;</li><li>– сточные воды;</li><li>– сыпучие продукты</li></ul>

Хранение нефти и темных нефтепродуктов является важной составляющей и требует повышенного внимания за состоянием конструкций емкостных сооружений. Исследованием установлено, что через 1 м<sup>2</sup> стального резервуара с толщиной стенки 7–8 мм при разности температур ее поверхности 1 °С в течение 1 часа проходит около 4000 ккал. Через железобетонную стенку толщиной 25 см при тех же условиях переход тепла составляет всего 8 ккал. Поэтому колебания температуры газового пространства и нагрев нефтепродукта внутри железобетонного резервуара, а следовательно, и потери от испарения значительно меньше, чем в металлических атмосферных резервуарах. При нарушении правил хранения топливо может потерять свои свойства и упасть в цене. Рациональнее использовать для хранения нефти и её продуктов железобетонные подземные резервуары. Это происходит благодаря их относительно небольшой стоимости и долговечности [3].

Основные конструкции подземных железобетонных резервуаров: столбчатые фундаменты, колонны сечение 400×400 мм, стеновые панели сборные железобетонные с 2-ярусной разрезкой и ребристые плиты покрытия. Разрез железобетонного резервуара представлен на рис. 1.

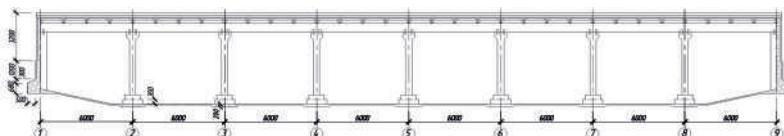
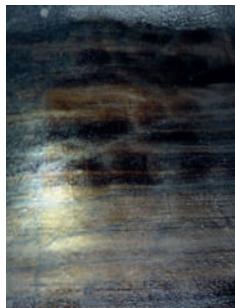


Рис. 1. Разрез железобетонного резервуара

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции резервуаров подвергаются воздействию ряда факторов: внешние воздействие (температура, осадки, грунтовые воды), технологическое воздействие (агрессивные органические вещества хранимых нефтепродуктов, температура, давление, вакуум) (см. табл. 2).

Таблица 2

## Дефекты конструкций железобетонных резервуаров

Дефекты конструкций	Фото дефекта	Категория технического состояния	Рекомендации по восстановлению
Уровень подземных вод превышает отметку днища резервуара		Ограниченно-работоспособное техническое состояние с прогнозируемым переходом в аварийное состояние в течение 1–5 лет	Требуется усиление конструкций и восстановление эксплуатационной пригодности
Стеновые панели пропитаны мазутом на 100 %. Раскрытие трещин превышает нормативные допуски в 10 раз		Аварийное состояние	Требуется немедленные страховые мероприятия, усиление конструкций или их замена. Восстановление без разборки сохранившихся конструкций возможно только при технико-экономическом обосновании.

Продолжение табл. 2

<p>Кровля течет повсеместно. Плиты покрытия резервуара замочены</p> 	<p>Ограниченно-работоспособное техническое состояние с прогнозируемым переходом в аварийное состояние в течение 1–5 лет</p>	<p>Требуется усиление конструкций и восстановление эксплуатационной пригодности</p>
<p>Плиты покрытия находятся в замоченном состоянии. Развивается процесс коррозии арматуры и отслоения защитного слоя бетона</p> 	<p>Ограниченно-работоспособное техническое состояние с прогнозируемым переходом в аварийное состояние через 5 лет и более</p>	<p>Требуется усиление конструкций и восстановление эксплуатационной пригодности</p>
<p>Колонны и ригели (балки покрытия) пропитаны мазутом на глубину до 50 мм</p> 	<p>Работоспособное состояние</p>	<p>Требуется, как правило, восстановительный ремонт без изменения конструктивной схемы и без технико-экономических обоснований</p>

## **Заключение**

Анализируя дефекты резервуара, можно сделать выводы о техническом состоянии конструкций и спрогнозировать развитие дефектов. Днище резервуара не соответствует своему назначению, поскольку имеет разломы и трещины с поступлением подземных вод в резервуар, а мазута в грунт. Отметка заложения днища резервуара должна находиться на 1 м выше максимального уровня грунтовых вод во время строительства и эксплуатации [1].

При возрастании объема обмена подземных вод и мазута, дефект не грозит обрушением резервуара, но нарушает экологические нормы эксплуатации сооружения. Увеличивается снижение прочности бетона. Обрушение стен резервуара при его опорожнении возможно. Замачивание плит покрытия ведет к прогрессирующему снижению уровня их технического состояния. Подъем уровня подземных вод – к дополнительному подпору днища резервуара. Постоянное замачивание плит покрытия атмосферными водами и конденсатом является фактором, снижающим уровень технического состояния покрытия за счет коррозии арматуры.

## **Литература**

1. СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями № 1–5).
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1, 2).
3. Шебуев Б. А. Железобетонные резервуары, бункеры и силосы [Текст] : Расчет и конструирование : ГУУЗ НКТП утв. в качестве учеб. пособия для строит. втузов / Б. А. Шебуев, доц. Воен.-инж. акад. РККА им. В. В. Куйбышева ; под ред. В. М. Келдыша, проф. Воен.-инж. акад. РККА им. В. В. Куйбышева. – Москва ; Ленинград : Онти. Глав. ред. строит. лит-ры, 1935. – Переплёт, 229 с., 1 вкл. л. черт. : ил. : 26×18 см.

**УДК 69.05**

Алексей Валерьевич Коляда,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* akolyda111281@mail.ru

Aleksey Valerievich Kolyada,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* akolyda111281@mail.ru

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

### **TECHNOLOGY OF APPLICATION OF THE COMPLEX ALTERNATIVE SOURCE EQUIPMENT ENERGY**

Использование альтернативных источников энергоснабжения позволит снизить финансовые затраты при эксплуатации здания, создать независимый, экологически безопасный источник энергии, а также расширит возможности строительства жилых и промышленных объектов. Вместо строительства зданий, зависящих от традиционных сетей, предлагается возводить энергоэффективные сооружения, использующие возобновляемые источники, которые не только обладают огромным потенциалом, но и не наносят вреда окружающей среде.

В данной статье проведен расчет, выбраны компоненты и смоделирован комплекс оборудования с определенными техническими параметрами. Данный комплекс представляет собой автономную систему энергообеспечения, основанную на возобновляемых источниках энергии.

*Ключевые слова:* инвертор, энергия, мощность, оборудование.

The use of alternative energy sources will reduce financial costs during the operation of the building, create an independent, environmentally friendly energy source, and expand the possibilities for the construction of residential and industrial facilities. Instead of building buildings that depend on traditional networks, it is proposed to build energy-efficient buildings using renewable sources that not only have great potential, but also do not harm the environment.

In this article, the calculation is carried out, the components are selected and the complex of equipment with certain technical parameters is modeled. This complex is an autonomous energy supply system based on renewable energy sources.

*Keywords:* inverter, energy, power, equipment.

## **Введение**

Устойчивое развитие экономики и общества неразрывно связано с бесперебойным обеспечением энергией. Современные энергетические системы настолько взаимосвязаны, что сбои в одной точке неизбежно отражаются на всех участниках. Локальные меры на уровне отдельных государств оказываются недостаточными для решения возникающих проблем. Учитывая глобальный масштаб угроз и их последствий, необходимы скоординированные усилия международного сообщества.

Традиционные источники энергии (нефть, газ, уголь и т. д.) не всегда и не везде могут быть использованы как источник потребляемой энергии, ввиду отсутствия инженерных коммуникаций и высокой стоимости их потребления. Стоимость электроэнергии при использовании альтернативных источников для потребителя обходится на 70 % дешевле, чем при использовании традиционных, а окупаемость составляет от 6 до 12 лет. Рост применения возобновляемых источников в строительной отрасли дополнительно послужит развитию научных разработок, промышленного производства в различных отраслях и росту экономики страны в целом.

Цель написания настоящей статьи заключается в рассмотрении вопроса строительства здания (дома) с энергоэффективной комплексной системой его автономного энергоснабжения, состоящей из альтернативных возобновляемых источников энергии, которые взаимно дополняют друг друга, особенно в зимний период, которые заменяют обычные (традиционные) источников энергии, а также в проведении расчета их окупаемости при их эксплуатации.

## **Теоретическая часть**

Возобновляемые источники энергии представляют собой нетрадиционные, практически неисчерпаемые ресурсы, которые подразделяются на две категории в зависимости от их происхождения: природные и антропогенные. К естественным альтернативным источникам энергии относятся солнечная энергия, энергия ветра, энергия морских приливов, биомасса, геотермальная энергия, гидроэнергия, а также низкопотенциальная тепловая энергия, извлекаемая из воздуха, грунта и водоемов.

Применение альтернативных возобновляемых источников энергии (таких как солнечные панели, ветряные турбины и тепловые насосы) в энергоэффективном строительстве позволяет сократить финансовые затраты как на этапе возведения здания, так и в процессе его эксплуатации.

Солнечная панель – это устройство, преобразующее солнечное излучение в электричество. Принцип действия основан на взаимодействии света с веществом, при котором энергия фотонов передается электронам, генерируя электрический ток. При освещении фотоэлемента образуются электронно-дырочные пары, создающие напряжение. Подключенные к аккумулятору, они образуют замкнутую цепь, заряжая его. Солнечная батарея функционирует круглый год, продолжая генерировать энергию даже при покрытии снегом.

Большая часть территории России (более 60 %) характеризуется среднегодовым поступлением солнечной радиации от 3,5 до 4,5  $\text{kVt}\cdot\text{ч}\cdot\text{м}^2$  в день. Этого достаточно для использования фотогальванических систем [1].

### **Ветровые генераторы**

Ветровой генератор является вторым наиболее распространенным источником альтернативной энергии после солнечной панели. Современные исследования в области ветроэнергетики заставили пересмотреть устоявшиеся принципы размещения ветровых генераторов.

Вместо установки ветряных турбин на большом расстоянии друг от друга и на максимальной высоте, более эффективно размещать их плотно и на небольшой высоте, что особенно актуально для малоэтажных зданий.

Особенностью ветра является его непостоянство, которое проявляется в изменении скорости ветра. Использование ветрогенераторов с вертикальной осью вращения решает эту проблему, для них не требуется автоматического изменения ориентации [2].

Принцип действия ветрогенератора состоит в преобразовании кинетической энергии ветра в электрическую. Основные компоненты ветрогенератора: аэродинамические лопасти, генератор пе-

ременного тока, контроллер для управления станцией, накопитель энергии (аккумуляторы), инвертор для преобразования тока и мачта.

Принцип действия системы: вращение лопастей под воздействием ветра запускает ротор генератора, преобразуя кинетическую энергию в механическую, а затем в электрическую. Контроллер преобразует переменный ток в постоянный, который накапливается в аккумуляторах. Инвертор преобразует постоянный ток обратно в переменный для подачи в электросеть дома.

Тепловой насос – это оборудование, предназначенное для передачи тепловой энергии.

*Рассмотрим этапы работы теплового насоса:*

- 1) испарение фреона, используемого в качестве хладагента,
- 2) сжатие хладагента (с выделением тепла),
- 3) передача тепла в отопительный контур,
- 4) дросселирование хладагента,
- 5) возврат хладагента в испаритель.

Контур насоса герметичен. Геотермальные насосы работают круглогодично.

По источнику тепла выделяют геотермальные, воздушные и насосы, использующие вторичное тепло (например, тепло сточных вод). Тепловые насосы актуальны, когда другие системы отопления экономически невыгодны.

Комплексное применение альтернативных возобновляемых источников энергии является способом реализации энергоэффективного дома. В целях подтверждения теоретических положений необходимо провести расчетно-аналитические процедуры.

*Исходными данными для проведения расчета энергоэффективного дома будут являться:*

- Жилой дом площадью 300 м<sup>2</sup>, место расположения: Петродворцовый район Санкт-Петербурга, южный берег Финского залива к западу от Санкт-Петербурга;
- Средняя нагрузка потребления электроэнергии: 1136 кВт·ч в месяц (расчет производился исходя из мощностей электроприборов, используемых семьей из четырех человек, проживающих в доме площадью 300 м<sup>2</sup>);

- Имеется возможность подключиться к электрическим сетям.

*Задачи:*

- Подобрать типы и мощности солнечных батарей, ветряных генераторов и теплового насоса.
- Провести расчет окупаемости источников энергии, выбранных для энергоэффективного дома.

*Решение поставленной задачи:*

Учет факторов, влияющих на выбор оборудования:

- Площадь дома,
- Потребляемые мощности в доме,
- Географическое место расположения объекта,
- Ветровые показатели,
- Грунтовые породы места строительства дома,
- Температура окружающей среды,
- Сезонные колебания потребления энергомощностей.

В связи с имеющейся возможностью подключения дома к электрическим сетям расчеты для выбора оборудования проводились не по пиковым мощностям потребления, а по среднему уровню. Рассматривается вариант интеграции нетрадиционных и возобновляемых энергетических ресурсов с опцией подключения к электросети. Присоединение к электросети необходимо для обеспечения стабильного электроснабжения в периоды, когда альтернативные источники не функционируют. Это подключение будет осуществляться с помощью гибридного инвертора [2].

Гибридные инверторы могут беспрепятственно интегрироваться с электрической сетью, что позволяет им автоматически переключаться между использованием солнечной энергии, энергии из сети и энергии из аккумуляторов в зависимости от текущих условий и потребностей.

*Солнечные панели:*

Необходимые мощности потребления:  $P_{\text{потр.}} = 1136 \text{ кВт}\cdot\text{час}$  в месяц,  $P_{\text{потр.}} = 38 \text{ кВт}\cdot\text{час}$  в сутки.

По техническим характеристикам наиболее подходящими панелями являются панели, способные стablyно генерировать энергию в объеме  $36 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  в сутки.

*Гибридный инвертор с характеристиками:*

$P$  макс. ген.= 6 кВт

$U$  макс. = 500 В

$U$  раб. = 60–450 В

Солнечная панель со следующими характеристиками:

$P$  макс. панел.= 580 Вт

$U_{xx}$  = 50,9 В

Расчет количества панелей:

Должно сохраняться равенство:

$$\frac{U \text{ макс}}{U \text{ х.х.}} = \frac{P \text{ макс. ген.}}{P \text{ макс панел.}}$$

$$\frac{500}{50} = \frac{6000}{580} = 10 \text{ солнечных панелей.}$$

Таким образом, максимальное количество солнечных панелей составляет 10 штук. Площадь одной панели 2,58 м<sup>2</sup>, следовательно, общая площадь панелей, размещаемых на крыше дома, составит 26 м<sup>2</sup>. Масса одной панели – 28,4 кг, общая нагрузка при размещении на крыше дома составит 284 кг.

Для моделирования потребления и выработки энергии автономными источниками использовалась компьютерная программа, в которую были внесены технические характеристики оборудования, монтажные параметры и метеорологические величины региона строительства.

На рис.1 изображен график выработки количества энергии при применении расчетного количества солнечных панелей.

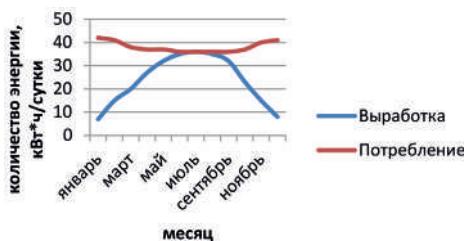


Рис. 1. Выработка энергии при использовании солнечной панели

Ветряная турбина – ценный элемент в изолированной энергосистеме, особенно ввиду относительной независимости генерации ветра от времени года. В отличие от солнечных панелей, чья производительность снижается в холодное время года, ветрогенераторы продолжают эффективно работать зимой. Важно отметить, что сильные порывы ветра часто приходятся на периоды с облачной погодой. Это делает совместное использование ветряных и солнечных установок вполне логичным решением для обеспечения стабильного энергоснабжения.

Для компенсации недостающей солнечной автономной энергии был выбран ветрогенератор со следующими техническими характеристиками:

Мощность ветрогенератора равна 2 кВт·час, высота мачты 10 метров. Исходя из расчетов скорости ветра на территории г. Санкт-Петербург данный генератор будет вырабатывать 5–10 кВт энергии час в сутки, что позволит весной и летом покрывать автономно всю необходимую энергию для проживания в доме, без подключений к электрическим сетям.

Для обогрева помещений в холодное время года планируется применение теплового насоса, что значительно сократит расход электроэнергии, необходимой для отопления здания.

Главным достоинством тепловых насосов, в отличие от стандартных отопительных систем, является их повышенная производительность и, как результат, экономичность.

Тепловой насос извлекает тепло с низкой температурой из подземного источника и направляет его в систему отопления здания. Тип источника тепла для теплового насоса не играет принципиальной роли: им может быть грунт, грунтовые воды или вода из находящегося поблизости водоёма.

Для поддержания температурного режима в доме площадью 300 м<sup>2</sup> будет использоваться геотермальный тепловой насос, мощность нагрева которого составляет 25 кВт·час. Применение данного насоса позволит сократить потребности в электричестве в зимний период времени. На рис. 2 изображен график выработки количества энергии при применении солнечной панели, ветрогенератора и теплового насоса.

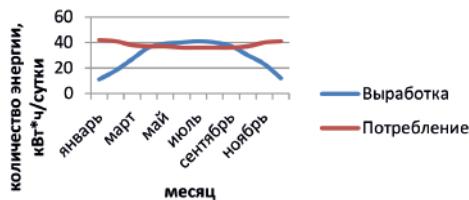


Рис. 2. Выработка энергии при использовании солнечной панели, ветрогенератора и теплового насоса

Анализ графика, представленного на рис. 2, показывает, что зимой энергии, полученной от солнца, ветра и земли, будет недостаточно. Недостающая электроэнергия будет компенсироваться за счет подмешивания электрического тока из центральной системы электроснабжения.

Для поддержания температурного режима в доме площадью 300 м<sup>2</sup> будет использоваться геотермальный тепловой насос, мощность нагрева которого составляет 25 кВт·час. Применение данного насоса позволит сократить потребности в электричестве в зимний период времени.

Экономические показатели для строительства энергоэффективного дома площадью 300 м<sup>2</sup>:

1. Солнечные панели. Стоимость оборудования и монтажа 1 000 000 руб., стоимость обслуживания 25 000 руб., срок эксплуатации 20 лет.

2. Ветрогенератор. Стоимость оборудования и монтажа 200 000 руб., стоимость обслуживания 20 000 руб., срок эксплуатации 20 лет.

3. Тепловой насос: стоимость оборудования и монтажа 700 000 руб., стоимость обслуживания 25 000 руб., срок эксплуатации 25 лет.

Общая стоимость оборудования и работ по его монтажу составляет: 1 900 000 рублей.

Ежегодные затраты на обслуживание оборудования составляют 70 000 рублей.

Ежегодные затраты на отопление и свет при подключении к центральным системам: 384 382 рублей в год.

Ежегодная экономическая выгода будет составлять (384 382 – 70 000) = 314 382 рубля.

Определим простой срок окупаемости реализации комплексного строительства здания с комплексным использованием автономных источников. Ежегодную экономическую выгоду можно рассматривать в качестве прибыли для срока определения окупаемости. Под простым сроком окупаемости следует понимать период времени, по окончании которого чистый объем поступлений (в нашем случае сохранение средств, которые были бы потрачены на отопление и свет при подключении к центральным системам в течение одного года) перекрывает объем инвестиций в проект.

Простой срок окупаемости определим по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_n}{ЧД_c} = \frac{1\ 900\ 000}{314\ 382} = 6 \text{ лет},$$

где  $I_n$  – первоначальные инвестиции,  $ЧД_c$  – среднегодовой чистый доход.

Срок окупаемости без учета инфляции всего оборудования составляет 6 лет.

С учетом годовой инфляции, равной 8 %, коэффициент дисконтирования составляет  $k = 1,5$ . Это означает, что суммарные затраты на коммунальные услуги за шестилетний период составили бы 1 844 359 рубля. Полученная сумма близка по значению сумме первоначальных инвестиций в строительство [3].

### Заключение

В результате проведенных расчетов можно констатировать экономическую эффективность применения альтернативных источников энергии для обеспечения энергией домовладения площадью 300 м<sup>2</sup>. Период возврата инвестиций в установленное оборудование оценивается в шесть лет, что приемлемо для большинства граждан, несмотря на разовые высокие затраты.

Таким образом, интеграция комплексной автономной системы позволяют источникам дополнять друг друга в процессе эксплуатации, особенно в зимний период года.

### **Литература**

1. *Фатеев Е. М.* Ветродвигатели и ветроустановки. – М. : Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. – 544 с.
2. *Ворона-Сливинская Л. Г., Воскресенская Е. В., Лойко А. Н.* Рынок электрической энергии: вопросы гражданско-правового регулирования // В книге: Роль интеллектуального капитала в экономической, социальной и правовой культуре общества XXI века. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. Комитет по науке и высшей школе ; Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, 2018. – С. 216–218.
3. *Груничев И. А.* Архитектурные принципы интеграции ветрогенераторов в малоэтажных зданиях в зонах прибрежных территорий // Жилищное строительство. 2015. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnye-printsyipy-integratsii-vetrogeneratorov-v-maloetazhnyh-zonah-pribrezhnyh-territoriy/> (дата обращения: 23.12.2021).

**УДК 624.016**

Екатерина Александровна Кочнева,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: kochneva-EkAl@yandex.ru*

*Ekaterina Aleksandrovna Kochneva,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: kochneva-EkAl@yandex.ru*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВОЗВЕДЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSTRUCTION METHODS FOR MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS**

Выполнен анализ способов производства работ с учетом применяемых строительных материалов, средств механизации и технологий строительства.

При оценке способов производства работ оценивались прочностные и ресурсные характеристики технологий возведения зданий.

Результаты изучения строительных технологий в жилищной сфере демонстрируют преимущества сборно-монолитных конструкций. Наибольшая эффективность достигается при комбинировании данной технологии с кладочными или панельными методами возведения наружных стен, что делает её оптимальным решением для массовой застройки с улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с крупнопанельными домами.

*Ключевые слова:* способы производства работ, многоэтажные здания, монолитное строительство, кирпичное домостроение, сборно-монолитное строительство, баллы, экспертная оценка.

The analysis of the methods of work production was carried out taking into account the applied building materials, mechanization means and construction technologies.

When evaluating the methods of work, the strength and resource characteristics of building construction technologies were evaluated. The results of the study of construction technologies in the housing sector demonstrate the advantages of prefabricated monolithic structures. The maximum effectiveness of this technology is shown when it is integrated with brick or panel masonry of exterior walls, which makes it an ideal choice for large-scale construction. Compared to large-panel houses, this method provides improved operational properties.

*Keywords:* construction technologies, multi-storey buildings, monolithic construction, brick housing, prefabricated monolithic structures, evaluation criteria, expert assessment.

Современное многоэтажное строительство в Санкт-Петербурге предполагает тщательный выбор технологических решений, который должен основываться не только на экономических расчетах, но и учитывать специфику строительной площадки, а также требования к будущим эксплуатационным качествам возводимых объектов. Каждая из применяемых сегодня технологий – кирпичная, панельная, монолитная или сборно-монолитная – находит свое применение в зависимости от конкретных условий городской среды, включая плотность существующей застройки, состояние инженерных сетей и особенности грунтов.

История индустриального домостроения в городе берет начало в конце 1950-х годов, когда в Ленинграде было организовано пять специализированных домостроительных комбинатов. Эти предприятия занимались промышленным изготовлением железобетонных конструкций, которые затем доставлялись на стройплощадки и собирались в готовые здания при помощи кранового оборудования. Таким способом возводились не только жилые дома, но и социальные объекты – школы и детские дошкольные учреждения. В представленных материалах содержатся сравнительные данные по типовым проектам панельных многоквартирных домов, которые были возведены тремя ведущими строительными компаниями города в указанный временной промежуток [1, 2].

Ключевое внимание уделяется сравнению экономических и технических параметров различных серий жилья, выпускавшихся строительными организациями Ленинграда. Анализ этих данных позволяет проследить эволюцию подходов к массовому жилищному строительству и оценить эффективность применяемых в разные годы конструктивных решений.

Особое внимание удалено сопоставлению технических характеристик жилых зданий, выпускавшихся разными производственными объединениями в рамках единой градостроительной политики того времени (см. табл. 1).

Проведенное изучение информации демонстрирует, что в анализируемые годы основным типом жилой застройки были пятиэтажные дома, значительно отличающиеся от современных высотных

жилых комплексов по числу квартир. Доля расходов на изготовление сборных конструкций достигала 70–75 % от совокупной стоимости используемых строительных материалов.

В ходе модернизации жилищного строительства в 1980-х годах произошло существенное улучшение потребительских качеств жилья – высота помещений увеличилась до 2,7 метра, а минимальная площадь кухонного пространства достигла 8 квадратных метров [3].

Новый виток в развитии жилищного строительства ознаменовался в 1992 году преобразованием ДСК-2 в компанию «БЛОК», которая сосредоточилась на выпуске строительных элементов по проектам 137-й серии. Эти проекты отличались наличием двух лифтовых узлов в каждом здании. Техническое перевооружение производственных мощностей, инициированное в 2006 году, было окончательно реализовано к 2012 году. Параллельно с этим состоялось интеграция Гатчинского ДСК в структуру предприятия. Данный комбинат обладал уникальными компетенциями в создании 121-й серии панельных домов повышенной этажности (до 17 уровней), отличавшихся усовершенствованными планировочными решениями [4].

Переход на сборные технологии существенно снизил влияние сезонных факторов на темпы строительства. В 1990-х годах с появлением на рынке импортных крупнощитовых опалубочных систем с металлическим каркасом началось активное развитие монолитного домостроения.

Современные методы возведения зданий предусматривают использование кранового оборудования для монтажа опалубки, подачи арматурных конструкций и бетонной смеси. Широкое внедрение индустриальных опалубочных систем, бетононасосов и специализированного транспорта способствовало значительному прогрессу в монолитном строительстве [4].

Таблица I

**Сравнительный анализ типовых проектов панельных домов  
от предприятия Главленинградстрой**

Характеристики	ДСК-1 (серия 1-335-1)	ДСК-1 (серия 1-335-20)	ДСК-2 (серия ОД-4)	ДСК-2 (серия ОД-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-6)	ДСК-3 (серия 1ЛГ502-9)	ДСК-3 (серия Г-2и)	ДСК-3 (серия Г-3и)	ДСК-3 (серия Г-5)	
Кол-во блок-секций	4	5	4	6	6	9	5	7	1	
Общее число квартир	80	100	60	90	90	134	50	70	54	
Средняя пл. квартир, м <sup>2</sup>	31,7	32,3	30,6	30,5	31,6	31,9	37,2	34,7	34,7	23,1
Строительный объем, м <sup>3</sup>	12 022	15 136	9927	14 818	14 539	21 472	9046	11 832	7297	
Кол-во этажей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

*Продолжение табл. I*

Характеристики	ДСК-1 (серия 1-335-1)	ДСК-1 (серия 1-335-20)	ДСК-2 (серия ОД-4)	ДСК-2 (серия ОД-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-9)	ДСК-3 (серия Г-2и)	ДСК-3 (серия Г-3и)	ДСК-3 (серия Г-5)
Технико-экономические показатели									
Коэффициент повторяемости элементов	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,67	0,67
Номенклатура изделий, ед.	61	61	47	47	47	47	114	114	114
Количество типоразмеров	48	48	33	33	33	33	91	91	91
Средняя масса конструкции	1267	1267	1415	1415	1830	1830	760	760	760
Коэффициент загрузки крана	0,70	0,70	0,75	0,75	0,74	0,74	0,67	0,67	0,67

*Продолжение табл. 1*

Характеристики	ДСК-1 (серия 1-335-1)	ДСК-1 (серия 1-335-20)	ДСК-2 (серия ОД-4)	ДСК-2 (серия ОД-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-9)	ДСК-3 (серия Г-2и)	ДСК-3 (серия Г-3и)	ДСК-3 (серия Г-5)
<b>Удельные затраты на 1 м<sup>2</sup> жилой площади</b>									
Ограждающие конструкции м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> жил. пл.	0,24	0,24	0,17	0,17	0,41	0,41	0,45	0,45	0,45
Межэтажные перегородки м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> жил. пл.	0,37	0,37	0,10	0,10	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Внутренние перегородки м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> жил. пл.	1,73	1,73	2,46	2,46	0,21	0,21	1,0	1,0	1,0
Проемы м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> жил. пл.	0,84	0,84	0,59	0,59	0,66	0,66	0,57	0,57	0,57
Напольные покрытия м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> жил. пл.	1,57	1,57	1,42	1,42	1,37	1,37	1,36	1,36	1,36

*Окончание табл. 1*

Характеристики	ДСК-1 (серия 1-335-1)	ДСК-1 (серия 1-335-20)	ДСК-2 (серия ОД-4)	ДСК-2 (серия ОД-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-6)	ДСК-2 (серия 1ЛГ502-9)	ДСК-3 (серия Г-2и)	ДСК-3 (серия Г-3и)	ДСК-3 (серия Г-5)
Кровельные конструкции $\text{м}^2/\text{м}^2$ жил. пл.	0,44	0,44	0,40	0,40	0,40	0,40	0,36	0,36	0,36
Фундаменты $\text{м}^3/\text{м}^2$ жил. пл.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
Земляные работы $\text{м}^3/\text{м}^2$ жил. пл.	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,72	0,72	0,72

Решение проблем фундаментостроения на сложных грунтах Петербурга стало возможным благодаря применению грейферных установок и современного бурового оборудования, что открыло перспективы для возведения жилых комплексов высотой более 20 этажей [6].

Особый интерес представляет комбинированная технология КУБ, сочетающая сборные железобетонные элементы (колонны и плиты перекрытий) с монолитными участками, обеспечивающими пространственную жесткость конструкции (см. рис. 1). Данный подход демонстрирует высокую эффективность в современном многоэтажном строительстве.

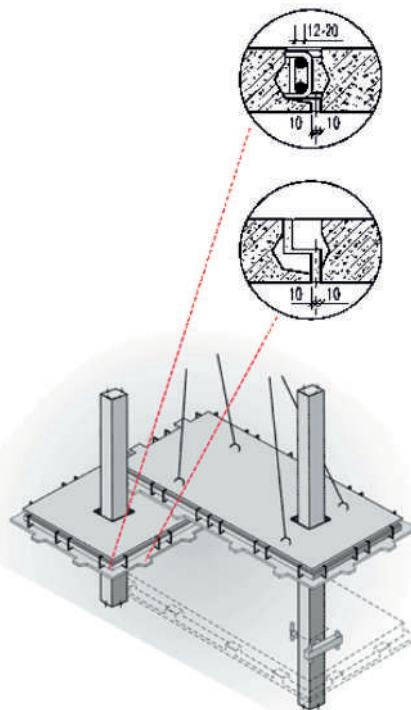


Рис. 1. Узлы и элементы каркасной строительной системы: колонны промышленного производства и плиты с монолитными соединениями

Суть предлагаемой методики заключается в сооружении несущего остова здания из серийно производимых колонн и плит, без применения балочных элементов, что формирует особую категорию комбинированных конструкций монолитно-сборного типа [8]. Исторически первые разработки безбалочных перекрытий без капителей были созданы специалистами ЦНИИЭП жилища еще до 1970 года. Впоследствии технология была усовершенствована, что привело к появлению модернизированных версий – систем КУБ 2,5 и КУБ-3V. Основа подобных строительных систем включают конструктивные элементы:

1. Вертикальные железобетонные стойки заводского изготовления сечением  $40 \times 40$  см длиной до 15 м (в местахстыковки с плитами перекрытий оставлены технологические пустоты без бетонного заполнения);
2. Квадратные плиты перекрытий габаритами  $3 \times 3$  м с толщиной 16 см;
3. Связевые конструкции прямоугольного сечения  $20 \times 25$  см, выполняющие функцию пространственного каркаса;
4. Вертикальные элементы жесткости толщиной 16 см [7].

При монтаже зданий по данной технологии наружные стены могут возводиться из крупногабаритных стеновых панелей либо из штучных каменных материалов (строительных блоков или кирпича). Ключевой особенностью технологии является метод соединения сборных колонн в зоне межэтажных стыков. Для обеспечения точного позиционирования несущих элементов используется стальной направляющий штырь, выступающий из нижнего торца монтируемой колонны, или ответный приемный стакан в верхней части колонны нижележащего этажа.

Данная технология демонстрирует эффективное сочетание преимуществ сборного и монолитного строительства, обеспечивая при этом высокие показатели жесткости и устойчивости возводимых конструкций.

Стыковка рабочей арматуры колонн осуществляется сварочным способом (см. рис. 2) [7].

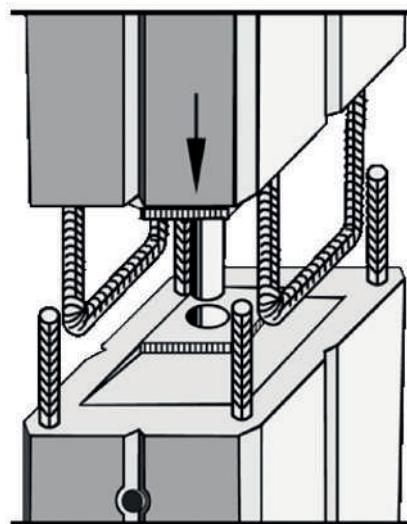


Рис. 2. Узловый элемент сопряжения несущих колонн

Разработана уникальная система оценки строительных технологий, основанная на 10-балльной шкале по каждому из ключевых параметров. Совокупная оценка (от 10 до 100 баллов) дает четкое представление о преимуществах и недостатках каждой из рассматриваемых строительных методик. Результаты сравнительной оценки демонстрируют преимущества и недостатки каждой из рассматриваемых технологий (см. табл. 2).

Для анализа согласованности мнений экспертов используется статистический показатель – коэффициент вариации, рассчитываемый по установленной методике. Этот параметр рассчитывается на основе следующих статистических значений:

Коэффициент вариации, определенный по следующей формуле:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j} \quad (2)$$

Стандартное отклонение оценок для  $j$ -ой технологии строительства по формуле (3).

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (3)$$

Дисперсия экспертных оценок для  $j$ -й технологии по формуле (4).

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (4)$$

где  $n$  – число экспертов;  $C_{ij}$  – оценка (в баллах)  $j$ -ой технологии  $i$ -ым экспертом;  $M_j$  – среднее арифметическое значение величины оценки технологии (в баллах) определяется по формуле (5).

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad (5)$$

Расчеты показали, что значения коэффициента вариации для всех оцененных строительных методов строительства не превышали порогового значения 0,27. Такой уровень вариации свидетельствует о достаточной степени согласованности мнений экспертной группы при оценке различных технологий возведения многоэтажных зданий.

Проведенный анализ позволил сформулировать следующие выводы:

1. Архитектурна фасадов, планировка и звукоизоляция наибольшая у клади стен;
2. Наиболее долговечными оказались кирпич и монолит;
3. Монолитные конструкции из железобетона, наиболее прочные и сейсмостойкие;
4. Сборное строительство несмотря на капиталоемкость эффективна для серийного строительства;
5. Сборно-монолитный способ возведения многоэтажных зданий в комплексе оценочных показателей выигрывает первенство.

*Таблица 2*  
**Сравнительный анализ строительных технологий для жилых комплексов Санкт-Петербурга**

№ п/п	Критерии оценки технологии	Значение критерия оценки по десятибалльной шкале способов производства работ			
		Кладка	Монтаж	бетонирование	монтаж и бетонирование
1	Фасады	10	3	6	6
2	Планировка	7	3	9	10
3	Звукоизоляция (мин. 1 б.)	9	3	5	4
	Итого архитектура и звукоизоляция (макс. 30 б.)	26	9	20	20
4	Этажность (мин. 1 б.)	7	8	10	9
5	Прочность и сейсмостойкость (мин. 1 б.)	4	7	10	8
8	Долговечность (мин. 1 б.)	10	7	10	8
	Итого этажность прочность долговечность (макс. 30 б.)	21	22	30	25

## Окончание табл. 2

№ п/п	Критерии оценки технологии	Значение критерия оценки по десятибалльной шкале, способы производства работ			
		кладка	монтаж	бетонирова- ние	монтаж и бетонирование
6	Капиталоемкость (мин. 10 б.)	5	4	8	5
7	Себестоимость (мин. 10 б.)	5	10	7	9
9	Трудоемкость (макс. 1 б.)	4	9	7	8
10	Серийность (мин. 1 б.)	4	10	8	9
	Итого экономичность и массовость (макс. 40 б.)	18	33	30	31
	Итого технология строительной системы (макс. 100 б.)	65	64	80	76

## **Заключение**

Результаты сравнительного исследования строительных методик указывают на явные преимущества гибридных решений. Сочетание сборно-монолитного каркаса с кладочными или панельными фасадными системами превосходит традиционное крупнопанельное домостроение по комплексу потребительских качеств, что делает его оптимальным выбором для массового жилищного строительства.

## **Литература**

1. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов : монография / Ю. И. Тилинин, О. А. Пастух, Д. А. Животов, А. Н. Панин ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 239.
2. Тилинин Ю. И. Развитие организации и технологий крупнопанельного домостроения в условиях городского строительства / Ю. И. Тилинин, С. А. Бахтинов // Организация строительного производства : Материалы II Всероссийской научной конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 85–93.
3. Тилинин Ю. И. Совершенствование технологического процесса подачи бетонной смеси в опалубку / Ю. И. Тилинин, Г. Д. Макаридзе, Е. В. Хорошенькая // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4(75). – С. 74–80.
4. Тилинин Ю. И. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учётом исследования конструкционных сталей в строительной робототехнике / Ю. И. Тилинин, С. А. Евтиков, А. П. Щербаков // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3(74). – С. 72–79.
5. Евтиков С. А., Куркина Е. В., Евтиков С. С. Наземные транспортно-технологические машины ; под общ. ред. проф. С. А. Евтикова. – СПб. : ИД «Петрополис», 2016. – 504 с.
6. Гайдо А. Н. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, Я. В. Иванов. – СПб. : СПбГАСУ, 2014. – 368 с.
7. Тилинин Ю. И. Совершенствование рассредоточенного монолитного строительства на прибрежной территории / Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов // Строительные материалы. – 2021. – № 7. – С. 10–17.
8. Ворона-Сливинская Л. Г., Красильников М. Н., Емельянова С. А. Совмещение архитектурной и функциональной составляющей в современном высотном строительстве // Вестник науки. 2024. Т. 1. № 6(75). С. 1808–1814.

**УДК 692.232.45**

Денис Вячеславович Минаков,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: solever@vk.com*

*Denis Vyacheslavovich Minakov,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: solever@vk.com*

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ (НВФ)  
ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
В ЗИМНИЙ ПЕРИОД**

**IMPROVEMENT OF NVF TECHNOLOGY  
FOR RESIDENTIAL CONSTRUCTION IN WINTER**

Статья посвящена усовершенствованию НВФ для жилого строительства в зимний период. Рассмотрены основные проблемы эксплуатации НВФ при низких температурах, включая образование конденсата, теплопотери и влияние ветровых нагрузок. В работе использованы методы теоретического анализа, лабораторных испытаний (теплопроводность материалов, тепловизионная съемка), экспериментальных исследований (воздушный поток в зазоре, воздухопроницаемость) и экономического анализа. Результаты показывают, что оптимизация конструкций НВФ с учетом зимних условий.

*Ключевые слова:* навесные вентилируемые фасады (НВФ), зимний период, энергоэффективность, теплотехнические расчеты, теплопроводность, воздушный зазор, экономический анализ.

The article focuses on improving the technology of ventilated facades (NVF) for residential construction during winter. Key challenges of NVF operation in cold conditions, such as condensation, heat loss, and wind load effects, are addressed. The study employs theoretical analysis, laboratory tests (thermal conductivity, thermographic imaging), experimental research (airflow in the gap, air permeability), and economic evaluation. The results demonstrate that optimizing NVF designs for winter conditions enhances building energy efficiency, reduces heating costs, and extends facade lifespan.

*Keywords:* ventilated facades (NVF), winter period, energy efficiency, thermal calculations, thermal conductivity, air gap, economic analysis.

## **Введение**

Навесные вентилируемые фасады (НВФ) широко применяются в строительстве благодаря теплоизоляции, долговечности и эстетике. Зимой низкие температуры, снег и ветер снижают их эффективность. В условиях учащения экстремальных погодных явлений важно совершенствовать НВФ.

Объект исследования – технология устройства НВФ, влияние зимы на их эксплуатацию. Методы: теоретический и экспериментальный анализ, сравнение традиционных и улучшенных решений.

## **Лабораторные испытания для усовершенствования технологии НВФ**

Определение теплопроводности строительных материалов, применяемых в НВФ, критично для повышения энергоэффективности зданий в зимний период. Это позволяет снизить теплопотери и улучшить теплоизоляционные характеристики.

### **Методика проведения испытаний**

Подготовка образцов: изготавливаются образцы из различных материалов, используемых в НВФ, с размерами  $10 \times 10$  см и толщиной от 1,5 до 3 см [1], [2].

Использование оборудования: для определения теплопроводности применяются методы теплового потока и зондовый метод.

Проведение испытаний: образцы помещаются в тепловую камеру, где на них воздействует контролируемый тепловой поток. Измеряется температура на поверхности образца и фиксируется плотность теплового потока для расчета коэффициента теплопроводности.

### **Проведение тепловизионной съемки**

Цель исследования: тепловизионная съемка позволяет визуализировать распределение температуры по поверхности фасадов зданий, что помогает выявить места возможного образования конденсата и утечек тепла [4].

## **Методика проведения испытаний**

Подготовка к съемке: обеспечение стабильных температурных условий перед проведением съемки для минимизации влияния внешних факторов.

Использование тепловизоров: специальные тепловизоры фиксируют инфракрасное излучение от поверхности фасадов. На основе полученных данных создаются термограммы, отображающие температурные аномалии.

Термограммы выявляют участки с повышенной температурой, указывающие на слабую теплоизоляцию. Эти данные помогают разработать рекомендации по улучшению теплоизоляции.

## **Экспериментальные исследования**

### **Анализ экспериментальных исследований по НВФ**

Экспериментальные исследования, направленные на изучение зависимости скорости воздушного потока в воздушном зазоре наружных вентилируемых фасадов (НВФ). Основные факторы, влияющие на этот процесс, следующие:

- Температура: в зимний период температура наружного воздуха значительно ниже, что может привести к изменению плотности воздуха и, соответственно, к изменению скорости. Исследования показывают, что при снижении температуры скорость воздуха в зазоре может увеличиваться из-за более высокой разности температур между внутренним и наружным пространством [2];

- Скорость ветра: ветер является важным фактором, который влияет на движение воздуха в зазоре. При увеличении скорости ветра наблюдается рост скорости воздушного потока. Это может как улучшить вентиляцию, так и привести к нежелательным потерям тепла через конструкцию [3];

- Методы измерения: для точного определения скорости воздушного потока используются анемометры и другие приборы, позволяющие фиксировать изменения в различных условиях [4].

## **Оценка воздухопроницаемости конструкций**

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций является критическим параметром, определяющим их теплоизоляционные

свойства и общую энергоэффективность зданий с НВФ. Основные аспекты оценки включают:

- Методы испытаний: оценка воздухопроницаемости проводится с использованием стандартных методов, таких как испытания на герметичность [4];
- Факторы влияния: качество монтажа и материалы, используемые в ограждающих конструкциях, напрямую влияют на уровень воздухопроницаемости. Например, наличие неплотности или дефектов может значительно увеличить утечку воздуха [6];
- Экспериментальные условия: для получения достоверных данных исследования следует проводить в условиях, максимально приближенных к реальным условиям [9].

### **Сравнительный анализ**

#### **Изучение зависимости скорости воздушного потока в воздушном зазоре от внешних факторов**

Цель исследования – выявить зависимость скорости воздушного потока в воздушном зазоре НВФ от внешних факторов (температуры и ветра) для оптимизации энергоэффективности в зиму. Методология включала сбор метеоданных (Росстат, 2023) и замеры скорости потока анемометрами в реальных условиях.

Результаты показали, что при низких температурах плотность воздуха выше, снижая его скорость в зазоре, а усиление ветра повышает конвекцию, что может вести к росту теплопотерь. Эти данные согласуются с выводами Смирновой [11], подтверждая важность учета климата.

#### **Оценка воздухопроницаемости ограждающих конструкций**

Исследование включало тестирование воздухопроницаемости «Blower Door» для оценки влияния на микроклимат помещений. Результаты выявили несоответствие многих конструкций, приводящее к повышенным теплопотерям и ухудшению внутреннего микроклимата. Как отмечает Чистяков [11], это может вызывать образование конденсата и плесени.

Проведенные исследования подтвердили важность учета внешних факторов при проектировании НВФ. Оптимизация конструкций с учетом климатических условий способна значительно повысить их энергоэффективность и долговечность.

### **Экономический анализ**

Оценка экономической эффективности путем анализа затрат на материалы, монтаж и эксплуатацию НВФ в холодное время.

Наиболее распространенные материалы для НВФ: керамогранит, металлические панели.

Согласно исследованию Иванова и Петрова [6], выбор материалов напрямую влияет на стоимость проекта, так как различные материалы имеют разные ценовые категории и характеристики.

### **Затраты на монтаж**

Процесс установки НВФ требует квалифицированных специалистов. Затраты на монтаж могут варьироваться в зависимости от сложности конструкции и выбранных материалов. Ковалев [6] подчеркивает, что зимние условия могут увеличить время монтажа.

### **Эксплуатационные расходы**

Энергоэффективность зданий с НВФ в условиях холодного климата является ключевым фактором для снижения расходов. Кузнецов [11] отмечает, что правильная установка НВФ может значительно снизить теплопотери.

Эксплуатационные расходы включают: сниженные затраты на отопление за счет эффективности теплоизоляции и расходы на регулярное техобслуживание, особенно важное в зиму.

### **Экономическая эффективность**

Для оценки решений используются: срок окупаемости инвестиций и чистая приведённая стоимость. Исследования подтверждают, что подбор материалов и технологий монтажа НВФ обеспечивает значительную экономию. По данным Петровой [9], тепловые решения в сочетании с НВФ позволяют сократить затраты до 30 %.

### **Литература**

1. Альбом технических решений навесной фасадной системы «АЛЬФА-Керамогранит» // Альфа НВФ.
2. Васильев Н. Б., Кузьмина Н. И., Животов Д. А. Сравнение НВФ и мокрых фасадов // Страйт. еженедельник. 2017.
3. ГОСТ 11024–2012. Стены из бетона. – Москва : 2012. – 32 с.
4. ГОСТ Р 58883–2020. Системы НВФ, Общие правила расчета подконструкций / Москва : Стандартинформ, 2020.
5. Изотов В.С., Горшков А.С., Попов Д.Д. Технологические параметры навесных фасадов // Elibrary. 2020.
6. Ковалев С. В. Технологии зимнего строительства : учебное пособие. Москва : Стройиздат, 2020. 256 с.
8. НОСТРОЙ 2.14.67-2012. Правила проектирования навесных фасадных систем / Москва : НОСТРОЙ, 2012.
9. Петрова Л. И., Васильев Н. А. Навесные вентилируемые фасады: проектирование и монтаж : учебное пособие. Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 320 с.
10. Смирнова Е. Н., Кузнецова Д. А. Энергоэффективность зданий с навесными фасадами в условиях холодного климата // Журнал строительной науки. 2021. Т. 15, № 4. С. 67–75.
11. Чистяков М. Ю., Лебедев А. Г. Современные методы теплоизоляции зданий : учебное пособие. 2021. 280 с.

**УДК 691:620.197**

Лариса Андреевна Мухина,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* 922474@inbox.ru

*Larisa Andreevna Mukhina,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* 922474@inbox.ru

## **ОЦЕНКА СБОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

### **ASSESSMENT OF PREFABRICATED TECHNOLOGIES FOR PREFABRICATED BUILDINGS IN THE ARCTIC ZONE**

Настоящая работа исследует эффективность современных быстромонтируемых технологий для административных зданий в условиях Арктики. Проведён сравнительный анализ каркасно-панельного и модульного методов строительства на основе экспертной оценки их технических параметров. Выявлены оптимальные сферы применения различных систем на удалённых арктических территориях, где первостепенное значение имеют минимизация логистических затрат и использование безводных технологических процессов.

*Ключевые слова:* северное строительство, инновационные решения, анализ технологий, каркасно-сборные конструкции, модульные заводские системы, жилищное строительство, экспертная оценка, зоны эффективного применения, сэндвич-панели, гнутые металлопрофили, экстремальные температурные колебания.

The present work explores the effectiveness of modern fast-assembly technologies for administrative buildings in Arctic conditions. A comparative analysis of frame-panel and modular construction methods is carried out based on an expert assessment of their technical parameters. The optimal areas of application of various systems in remote Arctic territories have been identified, where minimizing logistical costs and using anhydrous technological processes are of paramount importance.

*Keywords:* northern construction, innovative solutions, technology analysis, prefabricated frame structures, modular factory systems, housing construction, expert assessment, areas of effective use, sandwich panels, bent metal profiles, extreme temperature fluctuations.

## **Введение**

Освоение Арктической зоны Российской Федерации, обусловленное её значительным ресурсным потенциалом, является стратегически и экономически важным направлением для обеспечения развития ключевых отраслей промышленности на Северном пути.

Освоение арктических территорий представляет значительные технологические вызовы, обусловленные экстремальными климатическими условиями и логистическими ограничениями. Температурный режим с понижением до  $-50^{\circ}\text{C}$ , сильными ветрами, метелями и кратким световым днём, создают неблагоприятные условия для традиционных строительных процессов. Навигационный период, пригодный для строительных работ, ограничен четырьмя месяцами, что требует применения высокоэффективных технологий быстрого возведения зданий.

Транспортировка строительных материалов и оборудования в арктические регионы [4–6] связана с существенными финансово-высшими затратами, что обуславливает необходимость использования легких конструкций заводского изготовления. В указанных условиях ключевое значение имеют каркасно-панельные и модульные технологии строительства [1–6], поскольку они минимизируют массу перевозимых компонентов и исключают необходимость выполнения «мокрых» работ на объекте.

Целью исследования является выявление оптимальных сфер применения современных сборных строительных технологий в условиях Арктики посредством комплексного анализа их технико-экономических показателей с участием экспертов.

## **Анализ применяемых строительных технологий**

### **Каркасно-панельная система**

Эффективность применения каркасно-панельной системы на основе оцинкованных холодногнутых профилей и сэндвич-панелей подтверждена строительством комплекса «Арктический Трилистник» (Земля Франца-Иосифа) (см. рис. 1-2) [7]. Подготовительный этап занял две недели и включал создание временного поселка для персонала

площадью 800 м<sup>2</sup>. Потребовалось 200 тонн стройматериалов и 24 единицы специализированной техники для строительства.



Рис. 1. Строительство несущего каркаса объекта в составе комплекса «Арктический Трилистник»



Рис. 2. Монтаж ограждающих конструкций (сэндвич-панели) одного из зданий комплекса «Арктический Трилистник»

Технология аналогичного типа была успешно применена при возведении медицинских центров в 2020 году. Строительство семи объектов общей вместимостью 849 мест было реализовано к апрелю в семи городах: Новосибирск, Волгоград, Одинцово, Подольск, Сосновый Бор, Нижний Новгород, Уссурийск (рис. 3). Еще девять центров на 820 мест были сданы к началу мая.



Рис. 3. Возведение многофункционального медицинского центра на 60 мест в г. Уссурийске: панельно-каркасное здание со встроенными кирпичными перегородками (фото из статьи [9])

### **Модульная технология**

В поселке Тикси, расположеннном в Республике Саха (Якутия), также используется модульный подход при строительстве быстро-возводимых зданий (рис. 4). В рамках этого подхода были возведены два общежития, каждое из которых рассчитано на проживание 150 человек.

Каждый модуль имеет следующие размеры: длина – 18 метров, ширина – 6,5 метра, высота – 3,47 метра, а площадь достигает 100 м<sup>2</sup>. Производство модулей осуществляется на уровне, близком к роботизации, что позволяет выпускать до 20 готовых модулей в сутки.

Модульные технологии обеспечивают существенное сокращение сроков возведения объектов: в 14 раз относительно панельных железобетонных домов, в 17 раз – монолитных и в 20 раз – кирпичных.



Рис. 4. Военно-строительный комплекс с применением модульных технологий для военнослужащих ракетно-зенитного комплекса ПВО в посёлке Тикси, Республика Саха (Якутия)

### **Методология исследования**

Для комплексной оценки строительных технологий разработана экспертная система анализа, охватывающая пять типов строительных систем:

1. Здания, состоящие из демонтируемых объемных модулей заводской готовности, произведенных с использованием сэндвич-панелей.
2. Здания модульной конструкции, возводимые из стандартных морских контейнеров.
3. Каркасные здания, использующие тонкостенные профили и имеющие двустороннюю обшивку.
4. Оцинкованные холодногнутые профили образуют несущий каркас сооружений, где сэндвич-панели выполняют функцию заполнения ограждающих конструкций.
5. В каркасных сооружениях, чьи несущие элементы выполнены из квадратных стальных профилей, используются сэндвич-панели в качестве материала для ограждающих конструкций.

Оценка экспертов проводилась по десяти критериям по 10-балльной шкале, что давало итоговый показатель от 10 до 100 баллов.

Для оценки согласованности экспертных суждений применялся коэффициент вариации, расчет которого ведется по формуле (2):

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j} \quad (2)$$

Для  $j$ -й технологии по формуле (3) задаётся значение среднего квадратического отклонения оценок.

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (3)$$

По формуле (4) задается величина дисперсии оценок  $D_j$  для  $j$ -й технологии.

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (4)$$

где  $n$  – суммарное число экспертов;  $C_{ij}$  – результат оценки  $j$ -й технологии экспертом  $i$ , выраженный в баллах;  $M_j$  – расчет среднего арифметического всех оценок (в баллах) для  $j$ -й технологии осуществляется по формуле (5).

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad (5)$$

0,27 – максимальное значение коэффициента вариации, использованного для анализа согласованности экспертов при расчёте средних баллов по типам систем и критериям, – это укладывается в допустимый консенсус.

### **Результаты экспертной оценки**

В таблице представлены результаты, полученные экспертами в ходе комплексного анализа строительных систем.

### Результаты экспертной оценки рассматриваемых типов строительных систем

Десять критериев оценки вариантов типов строительных систем	Значение критерия оценки по десятибалльной шкале				
	№1	№2	№3	№4	№5
Трудозатраты	9	10	5	7	5
Теплозащита	7	6	6	7	7
Звукоизоляция	8	7	6	6	7
Надежность	8	9	6	7	8
Эксплуатационная долговечность	8	9	6	7	7
Прямые затраты	6	6	8	7	7
Заводская готовность	8	9	6	8	7
Масса	7	7	8	7	6
Стоимость материала в запасах	10	10	6	7	8
Удобство транспортировки	10	6	6	8	7
Итоговый показатель эффективности в баллах	81	79	63	71	69

### Обсуждение результатов

Системы с каркасом из оцинкованных холодногнутых профилей (71 балл) выделяются простотой монтажа благодаря изготовлению деталей на заводе. Болтовые соединения и специализированный инструмент, включая сверла ступенчатого типа и электрические гайковерты, обеспечивают высокую технологичность сборки каркасных конструкций.

Блочно-модульные здания (79 баллов), основу которых составляют сухогрузные морские контейнеры (рис. 5), также имеют преимущество – вторичное использование материалов, что повышает уровень экологичности возводимого объекта и уменьшает затраты на закупку необходимых материалов. Благодаря типовым размерам контейнеры можно совмещать, соединять и создавать более крупные конструкции.



Рис. 5. Модульное здание на базе использования морских сухогрузных блок-контейнеров

Сборно-разборные объемные модули (81 балл) предлагают преимущества в вопросах перевозки, доставки и установки. Предварительная сборка на строительной площадке с последующим болтовым соединением значительно сокращает время и усилия, затрачиваемые для возведения объектов (рис. 6).

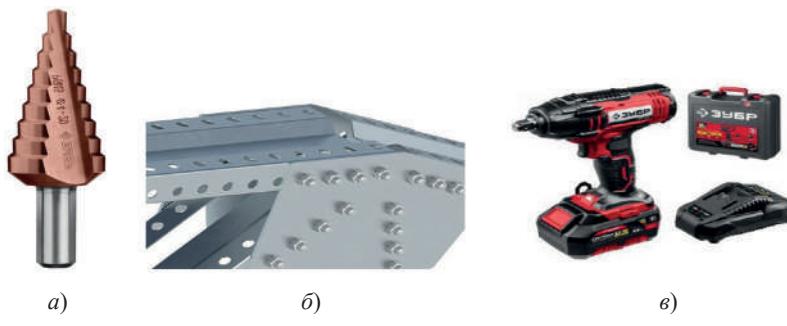


Рис. 6. Болтовое соединение и инструмент для сборки каркаса:  
а – ступенчатое сверло по металлу применяется для подгонки  
отверстий в стальных профилях при сборке каркаса; б – болтовое  
соединение стальных оцинкованных профилей; в – гайковерт  
аккумуляторный для сборки болтовых соединений

При определении подходящей строительной системы решающее значение имеют уровень развития региональной строительной индустрии и наличие требуемых материалов на оптовых складах в ближайшем населенном пункте. Данные условия зачастую обуславливают применение типовых систем, характеризующихся более низкими экспертными оценками.

Оцинкованные холодногнутые профили с сэндвич-панелями (для каркасов) и готовые металлические элементы с сэндвич-панелями (для сборно-разборных блоков) – основа строительства в арктических удалённых районах.

## **Выводы**

Для технологий возведения объектов в арктических условиях анализ выявил направления с наивысшей результативностью использования. С результатом 81 балл лидируют модульные конструкции из сэндвич-панелей и конструкторских элементов. На втором месте (79 баллов) – строения из перепрофилированных контейнеров для морских грузов.

В качестве целесообразных решений для объектов Крайнего Севера определены: конструкции из морских грузовых контейнеров, панельно-каркасные системы (холодногнутые оцинкованные профили с термопросечками) и блочные металлокаркасные модули с сэндвич-панелями.

Все вышеперечисленные решения позволяют минимизировать транспортные расходы, ускорить процесс возведения зданий и повысить эффективность работы в отдалённых регионах.

Выбор технологии при строительстве в городских условиях зависит от уровня развития местной строительной индустрии, доступности материально-технической базы и климатических требований местности.

Результаты данного исследования могут быть полезны при планировании строительных проектов в арктических регионах с экстремальными температурами и нестандартными требованиями к работе, а также выборе оптимальных технологических решений, учитывающих специфику условий эксплуатации.

## Литература

1. Евтюков С. А., Колчеданцев Л. М., Тилинин Ю. И. Исследование технологий возведения каркасно-панельных и модульных зданий в Арктике // С. А. Евтюков, Л. М. Колчеданцев, Ю. И. Тилинин // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 5 (88). С. 84–94.
2. Асаул А. Н., Казаков Ю. Н., Быков В. Л., Князь И. П., Ерофеев П. Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и зарубежом ; под ред. д-р техн. наук, проф. Ю. Н. Казакова. – СПб. : Гуманистика, 2004. – 472 с.
3. Тилинин Ю. И., Животов Д. А., Тилинин В. Ю. Повышение технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 1(35). С. 34–37. Астрахань : АГАСУ, 2021.
4. Мунтян, С. А. Выбор эффективной технологии с учетом тенденции быстрого возведения воинских зданий для Северного флота / С. А. Мунтян, Ю. И. Тилинин, Л. Г. Ворона-Сливинская // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства : Сборник статей межвузовской научно-практической конференции [Санкт-Петербург, 19 апреля 2024 года]. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 27–34. – EDN RDCKGT.
5. Тилинин Ю. И. Новые технологии возведения модульных зданий из морских контейнеров / Ю. И. Тилинин, В. Ю. Тилинин // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2022. – № S1(20). – С. 191–200. – EDN FKUDQR.
6. Тилинин Ю. И. Выбор технологии оперативного строительства объектов инфраструктуры с учетом долговечности зданий // Ю. И. Тилинин, Ч. О. Бахтинова, Е. В. Хорошенькая, В. Ю. Тилинин // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 1(84). – С. 95–96. СПб. : СПбГАСУ, 2021.
7. Мунтян С. А., Тилинин Ю. И., Ворона-Сливинская Л. Г. Выбор эффективной технологии с учетом тенденции быстрого возведения воинских зданий для Северного флота // В сборнике: Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник статей межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 27–34.
8. Gaido A. N. Construction system for the erection of prefabricated buildings out of factory-made modules // Architecture and Engineering. – Vol. 2. – № 2. – 2020. – P. 32–37. DOI: 10.23968/2500-0055 -2020-5-2 -32-37.
9. Biryukov A. Complex method for restoring the energy facilities technical condition in the Arctic // Biryukov A, Dobryshkin E, Biryukov Yu, Tokarev N. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. T. 539. С. 012149.
10. Тилинин Ю. И. Каркасно-панельные и модульные технологии для реконструкции зданий военной инфраструктуры / Ю. И. Тилинин // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства :

сборник статей межвузовской научно-практической конференции [Санкт-Петербург, 01 июня 2023 года] / Военный институт (инженерно-технический) – структурное подразделение Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2023. – С. 57–62. – EDN ULSJAP.

11. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов: монография / Ю. И. Тилинин, О. А. Пастух (гл. 1), Д. А. Животов, А. Н. Панин; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 239 с.

12. *Тилинин Ю. И.* Строительные системы и технологии возведения зданий и сооружения Новороссийской морской базы // В сборнике: Актуальные проблемы естественных и технических наук. Сборник статей межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 226–232.

13. *Тилинин Ю. И.* Повышение технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий / Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов, В. Ю. Тилинин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1(35). – С. 34–37. – EDN WZTGWE.

**УДК 69.05**

Милана Игоревна Расламбекова,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: raslambekova.milana@bk.ru*

Milana Igorevna Raslambekova,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: raslambekova.milana@bk.ru*

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ХЛАДОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

### **WAYS TO INCREASE THE COLD RESISTANCE OF METAL STRUCTURES DURING CONSTRUCTION IN THE FAR NORTH**

В статье рассматривается комплексный подход к обеспечению хладостойкости стальных конструкций, применяемых для строительства зданий в условиях Крайнего Севера. Подчеркивается важность учета не только марки стали, но и технологических решений, обеспечивающих защиту от промерзания, а также необходимость внедрения новых технологий для повышения надежности строительства в данных регионах.

*Ключевые слова:* хрупкое разрушение, металлические конструкции, Крайний Север, модульные термозащитные панели, низкие температуры, легированные стали.

The article considers an integrated approach to ensuring the cold resistance of steel structures used for the construction of buildings in the Far North. The importance of taking into account not only the steel grade, but also technological solutions that provide frost protection, as well as the need to introduce new technologies to improve the reliability of construction in these regions, is emphasized.

*Keywords:* brittle fracture, metal structures, the Far North, modular thermal protection panels, low temperatures, alloy steels.

При проектировании и эксплуатации стальных конструкций необходимо учитывать их особенности работы в условиях экстремально низких температур. Одним из аспектов, требующих внимания,

является склонность стали к хрупкому разрушению при пониженных температурах, известное как явление хладоломкости.

Хрупкое разрушение стали – специфический тип разрушения, при котором материал теряет свою прочность и быстро разрушается без значительной пластической деформации ввиду воздействия низких температур. Пример хрупкого разрушения стальной конструкции представлен на рис. 1. Данный процесс обусловлен уменьшением подвижности атомов в кристаллической решётке при отрицательных температурах, что вызывает модификацию структуры материала и приводит к увеличению хрупкости [1].



Рис. 1. Хрупкое разрушение стальной конструкции

В качестве проектных решений существует несколько наиболее распространенных в строительстве подходов к увеличению хладостойкости стальных конструкций, которые можно условно разделить на два направления: изменение вязкости стальных конструкций, за которую отвечают коэффициенты вязкости KСU и KCV и защита

стальных конструкций от промораживания. Если рассматривать подход изменения коэффициентов вязкости конструкций, то есть фактически повышение порога вхождения стальной конструкции в условия хрупкого разрушения, то наиболее известными мероприятиями являются: подбор подходящего химического состава сталей, применение термической обработки стальных конструкций, подбор рациональной конструктивной формы.

### **Выбор подходящего состава**

Применение низкоуглеродистых сталей с добавлением легирующих элементов, таких как никель, хром, молибден, вольфрам, ванадий и медь, позволяет увеличить прочность и вязкость материала при низких температурах и замедлить процесс хрупкого разрушения [2].

### **Применение термической обработки**

На хладостойкость стали влияет её структура: мелкозернистая сталь обычно более устойчива к низким температурам, чем крупнозернистая. Это связано с тем, что мелкозернистая структура способствует равномерному распределению напряжений и деформаций в металле, благодаря чему сталь лучше противостоит хрупкому разрушению [3].

Закалка, отпуск и нормализация стали помогают улучшить структуру и свойства стали, снижая риск хрупкого разрушения при низких температурах.

### **Снижение концентраций напряжений в узлах конструкций**

При разработке конструкций, которые будут использоваться в условиях низких температур, важно учитывать, что стальные конструкции со сложной формой, большим количеством сварных швов, отверстий и других элементов, вызывающих концентрацию напряжений, могут быть более подвержены хрупкому разрушению при понижении температуры окружающей среды. Это связано с тем, что в таких местах напряжения могут достигать критических значений, приводя к образованию трещин и последующему разрушению.

## **Подбор рациональных конструктивных форм**

Конструкции простых форм (например, балки, пластины и другие элементы с равномерным распределением нагрузок) обычно более устойчивы к хладоломкости.

Толщина элемента конструкции существенно влияет на хладостойкость стали. В более толстых элементах охлаждение происходит дольше, что способствует равномерному распределению температур и уменьшает риск хрупкого разрушения [4].

Однако не только конструктивные способы повышения хладостойкости стали используются в строительстве. Для получения оптимального соотношения физико-механических параметров и уменьшения стоимости конструкции, нерационально использовать некоторые конструктивные подходы ввиду высокой стоимости, а заменить их технологическими подходами к увеличению хладостойкости стали, защищая конструкцию от промораживания.

## **Технологические мероприятия для предотвращения хрупкого разрушения материалов**

В качестве перспективного решения, позволяющего избежать применения дорогостоящих легированных сталей, предлагается внедрение новой технологии строительства с использованием модульных термозащитных панелей, обеспечивающих контролируемое тепловое воздействие на стальные конструкции в период монтажных работ, когда стальные конструкции подвергаются существенному влиянию низких температур окружающей среды. После закрытия теплового контура и ввода в эксплуатацию системы отопления, обеспечивающей поддержание положительной температуры внутри здания, риск хрупкого разрушения стальных элементов исключается, после чего модульные термозащитные панели могут быть демонтированы и использованы повторно на другом объекте.

В основу концептуальной модели модульной терморегулирующей панели (МТП) положена технология, получившая широкое распространение при строительстве железобетонных конструкций в зимний период, где для обеспечения процесса твердения бетонной смеси применяется греющая опалубка. При разработке концепции

МТП был учтен опыт применения греющей опалубки, который будет адаптирован к условиям монтажа стальных конструкций.

На рис. 2, а представлена схема функциональных слоев модульной термозащитной панели. Внешний гидрофобный слой обеспечивает гидроизоляцию внутренних компонентов. Слой теплоизоляции предназначен для минимизации тепловых потерь и поддержания стабильного температурного режима внутри стальной конструкции. Дополнительное снижение тепловых потерь достигается за счет теплоотражающего слоя, осуществляющего отражение теплового излучения, генерируемого греющим кабелем.

Ключевым элементом системы является греющий кабель, обеспечивающий поддержание температуры поверхности конструкции выше температуры хрупко-вязкого перехода. Равномерное распределение тепловой энергии по поверхности стальной конструкции обеспечивается за счет термораспределяющего слоя.

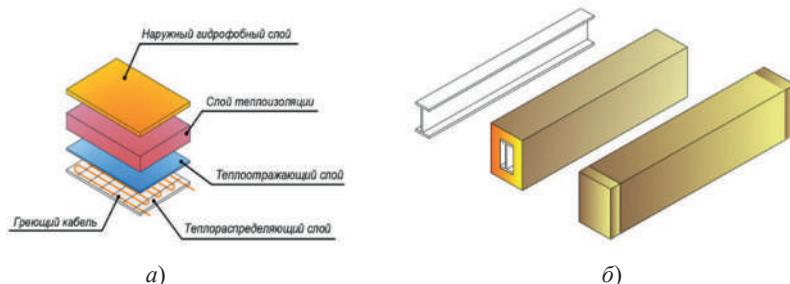


Рис. 2. а – функциональные слои модульной термозащитной панели;  
б – обеспечение термической защиты колонны посредством  
применения МТП

Модульная конструкция термозащитных панелей предусматривает возможность демонтажа отдельных секций, что обеспечивает удобный доступ к стальным конструкциям для проведения монтажных и строповочных работ. После завершения этих операций МТП легко собираются обратно, восстанавливая теплоизоляционный контур и обеспечивая поддержание необходимого температурного режима. Рисунок 2, б иллюстрирует способ обеспечения

термической защиты колонны с использованием модульных термо-защитных панелей.

### **Заключение**

Корректный подбор совокупности конструктивных и технологических решений по обеспечению хладостойкости стальных конструкций обеспечивает наибольшую эффективность, экономическую целесообразность и долговечность, поэтому при проектировании зданий и сооружений в условиях Крайнего Севера необходимо не только подбирать требуемую марку стали, но и рассматривать технологические способы защиты конструкций от промораживания.

### **Литература**

1. Горынин В. И., Оленин М. И. Пути повышения хладостойкости сталей и сварных соединений. 2022 – 27 с.
2. Солнцев Ю. П. Хладостойкие стали и сплавы : учебник / Ю. П. Солнцев. – 3-е изд. – СПб. : Химиздат, 2020. – 476 с.
3. Ермаков С. Б., Каргинова В. В., Солнцев Ю. П., Андреев А. К. Влияние термической обработки и микролегирования на хладноломкость сталей северного исполнения // Металлы. – 2010 – 67–75 с.
4. Андреев А. К. Влияние конструктивных факторов на хладостойкость литых сталей // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. СПб. : СПбГУНиПТ, 2007. – 137–142 с.

**УДК 69.059.7**

*Иван Сергеевич Серебряков,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: iv.serebryakov002@gmail.com*

*Ivan Sergeevich Serebryakov,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: iv.serebryakov002@gmail.com*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ СКАТНЫХ КРОВЕЛЬ**

### **IMPROVEMENT OF STRUCTURAL REINFORCEMENT TECHNOLOGIES IN THE RECONSTRUCTION OF WOODEN PITCHED ROOFS**

В статье рассматривается проблема необходимости реконструкции деревянных скатных кровель в условиях старого фонда Санкт-Петербурга. Проанализирована статистика состояния кровель Санкт-Петербурга, обосновывающая актуальность выбранной темы исследования, теоретические основы сбора данных для разработки проекта реконструкции кровли и существующие технологии усиления, нуждающиеся в усовершенствовании.

*Ключевые слова:* усиление конструкций, деревянные скатные кровли, реконструкция, усовершенствование технологий, обследование.

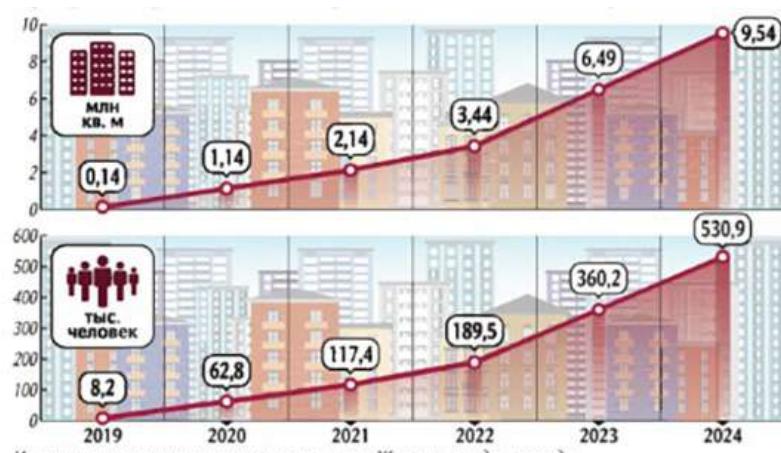
The article examines the challenges of reconstructing wooden pitched roofs in the historic center of Saint Petersburg. It provides statistical data on the current condition of roofs in Saint Petersburg, highlighting the relevance of the research topic. The study outlines the theoretical foundations for data collection in roof reconstruction planning and reviews existing reinforcement technologies that require improvement.

*Keywords:* structural reinforcement, wooden pitched roofs, reconstruction, technology improvement, inspection.

#### **Введение**

По данным государственной статистики ЖКХ за 2021 год, в Санкт-Петербурге насчитывается 262 аварийных здания, преимущественно расположенных в центральных районах. Их общая

площадь превышает 260 000 м<sup>2</sup>, а количество зарегистрированных жителей составляет более двух тысяч человек. Эти показатели существенно выше, чем в 2018 году, когда было зафиксировано лишь 55 аварийных домов с жилой площадью около 9 тыс. м<sup>2</sup> и 550 жильцами [2]. На рис. 1 представлена динамика реализации программы расселения ветхого жилья в городе.



Источник: паспорт национального проекта «Жилье и городская среда»

Рис. 1. Динамика реализации программы расселения ветхого жилья

В связи с этим разработка рекомендаций по совершенствованию технологии усиления деревянной скатной кровли имеет большое практическое значение.

### Методика обследования и восстановления деревянных кровельных систем

Техническое состояние деревянных конструкций оценивается в ходе плановых и внеочередных осмотров, в процессе которых выявляются дефекты, их причины и необходимый объем ремонтных работ [5]. По итогам обследования определяется степень физического износа здания, выражаящегося в утрате конструкциями первоначальных эксплуатационных характеристик. На основании

полученных данных о техническом состоянии объекта и его остаточном ресурсе принимается обоснованное решение о возможности дальнейшей эксплуатации или необходимости реконструкции.

### **Современные способы усиления стропильных систем**

Методы усиления деревянных конструкций могут применяться как к отдельным элементам, так и к системе в целом. Выбор оптимального решения зависит от следующих факторов:

- цели усиления;
- общего состояния здания и конкретной конструкции;
- условий эксплуатации;
- наличия пространства для монтажа дополнительных элементов.

Первый, самый важный, этап реконструкции – разгружение несущих элементов стропильной системы.

### **Восстановление поврежденных концов стропил**

При ремонте нижних концов стропильных ног производится демонтаж непригодных фрагментов с последующим наращиванием.

Наиболее популярный метод – использование двух накладных досок (рис. 2).

Если повреждены и стропила, и мауэрлат, применяются накладки с опорой на подбалку (рис. 3), это становится критически важным при повышенных эксплуатационных нагрузках.

Последовательность работ при наращивании стропил:

- Обеспечение разгрузки стропильной ноги с последующим снятием кровельного материала, обрешетки и контробрешетки.
- Вырезка деформированного или разрушенного фрагмента конструкции.
- Фиксация анкерных элементов из стали в кирпичную кладку.
- Монтаж опорных костылей с размещением на них деревянной подбалки (длиной 1 м).
- Крепление усиливающих боковых накладок, опирающихся на подбалку, с одновременной установкой удлиненной кобылки.
- Монтаж обрешетки, настила и восстановление кровельного покрытия.

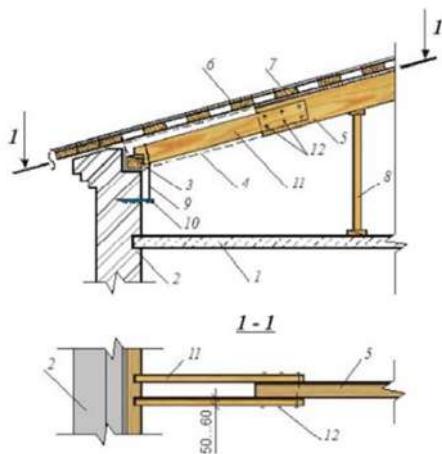


Рис. 2. Усиление концов стропильных ног накладными досками [3]

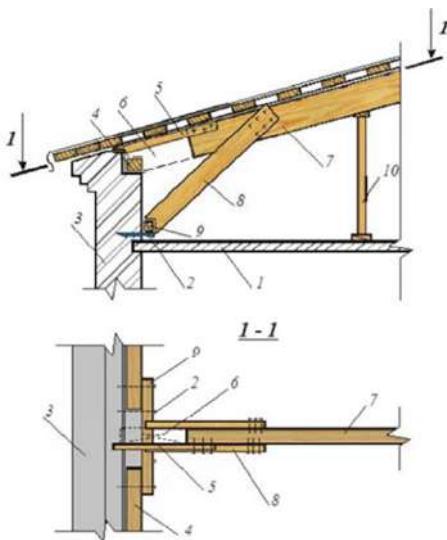


Рис. 3. Усиление концов стропильных ног при помощи дополнительной балки [3]

Альтернативный вариант – применение стальных прутковых протезов (рис. 4) [7].

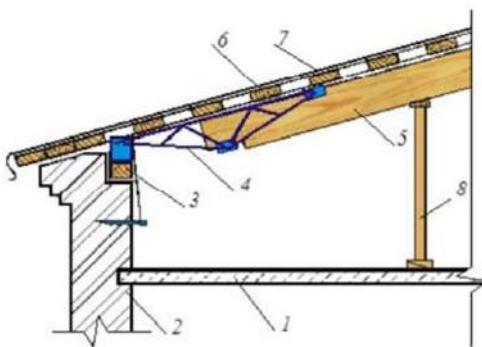


Рис. 4. Усиление концов стропильных ног под балкой [3]

### Усиление стропил в пролете

При реконструкции для усиления стропил в средней части используются накладные доски толщиной 50 мм, которые крепятся к неповрежденным участкам шпильками с шайбами.

Альтернативный метод усиления предполагает уменьшение рабочего пролета стропил путем монтажа шпренгельных ферм. В зависимости от проекта могут применяться:

- деревянные фермы (см. рис. 5, а)
- стальные фермы (см. рис. 5, в)

Рекомендуемый интервал между фермами составляет 4 метра.

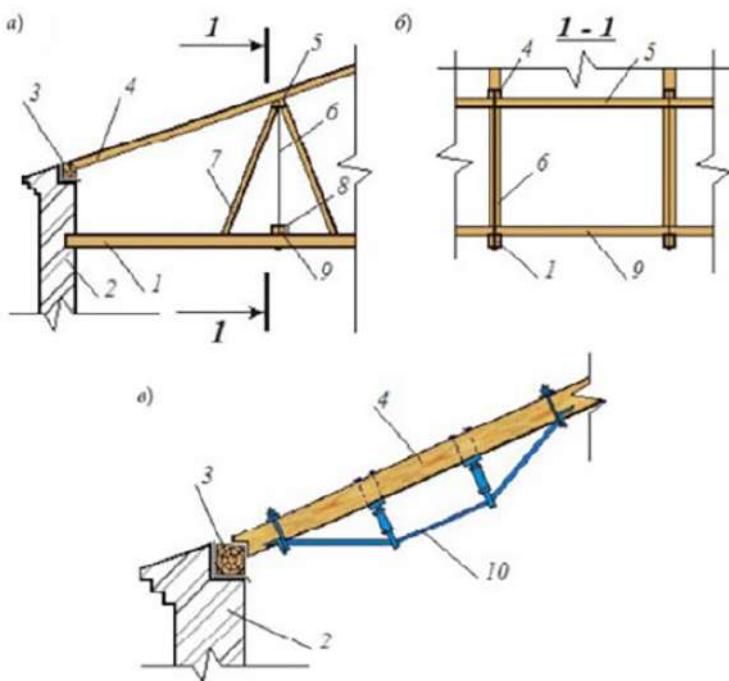


Рис. 5. Усиление конструкций в пролете:  
а – при помощи деревянных ферм; в – при помощи стальных [3]

### Вывод

Проблема аварийного жилья в Санкт-Петербурге остается острой, что подтверждается ростом количества ветхих зданий за последние годы. В таких условиях особую важность приобретают эффективные методы реконструкции и усиления несущих конструкций, в частности деревянных кровель. Дальнейшее развитие данных технологий, включая использование современных материалов, будет способствовать воплощению в жизнь программ реновации жилого фонда.

### **Литература**

1. Жолобов А. Л. Современные методы ремонта и реконструкции кровель зданий. Ростов-на-Дону : Донской гос. техн. ун-т. ДГТУ, 2018. 140 с.
2. ИТМО, Университет. «Градостроительная ситуация в Санкт-Петербурге и запрос», Платформа, 2020.
3. Лукин М. В., Лисягинников М. С., Попова М. В., Чибрикин Д. А., Роцина С. И. Техническая эксплуатация и усиление деревянных конструкций / Владимирский государственный университет, 2024. 177 с.
4. Обух-Швец Д. И. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга и современные методы и технологии / Д. И. Обух-Швец. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 26(473). – С. 29–37.
5. Оценка остаточного ресурса деревянных конструкций по величине физического износа / А. Г. Черных, Д. И. Корольков, Е. В. Данилов, Т. Н. Казакевич, П. С. Коваль // Жилищное строительство. – 2022. – № 4. – С. 66–72.
6. Петров К. С., Крищенко К. Г., Погодин К. Г., Жукова А. С. Применение современных строительных материалов и технологий при устройстве кровель / Инженерный вестник Дона. 2019. № 7. С. 3–8.
7. Ворона-Сливинская Л. Г., Животов Д. А., Латута В. В. Возведение зданий из деревянных конструкций : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2020.
8. СП 17.13330.2017 «Кровли». Актуализированная редакция СНиП II-26-76. М. : АО «ЦНИИ Промзданий», 2011. 53 с.
9. СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М. : АО «ЦНИИ Промзданий», 2017. 92 с.

**УДК 69.002.5**

Мария Ивановна Смирнова,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail:* maria02.work@mail.ru

*Maria Ivanovna Smirnova,*  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail:* maria02.work@mail.ru

**ПРИБОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ  
ДЛЯ ВИБРОМОНИТОРИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СОБСТВЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**INSTRUMENTAL COMPLEXES FOR VIBRATION  
MONITORING AND DETERMINATION OF DYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Исследована структура современных измерительных комплексов для двух основных задач: определения собственных динамических параметров зданий при техническом обследовании и контроля вибрационного воздействия во время строительных работ. В статье представлен обзор современной приборной базы для проведения вибромониторинга с описанием характеристик датчиков, систем сбора данных и дополнительного оборудования. Даны рекомендации по выбору приборов в зависимости от условий эксплуатации и требований к измерениям.

*Ключевые слова:* вибромониторинг, техническое обследование зданий, собственные динамические параметры, вибрация, вибродатчики.

The structure of modern instrumental complexes for two main tasks has been studied: determination of natural dynamic parameters of buildings during technical inspection and control of vibration impact during construction works. The article presents an overview of modern instrumental base for vibration monitoring with description of sensor characteristics, data acquisition systems and additional equipment. Recommendations for instrument selection depending on operating conditions and measurement requirements are given.

*Keywords:* vibration monitoring, technical inspection of buildings, natural dynamic parameters, vibration, vibration sensors.

Комплексный подход к вибромониторингу при строительстве в плотной городской застройке чаще всего включает в себя измерения собственных динамических параметров зданий и сооружений на этапе проведения технического обследования, также мониторинг вибраций конструкций и грунтов оснований во время строительно-монтажных работ.

В статьях по теме вибромониторинга и статьях, посвященных определению собственных динамических параметров зданий, можно столкнуться с похожей приборной базой, однако методы обработки данных, цели исследований и применяемые алгоритмы различаются.

Измерения собственных динамических параметров обычно проводятся при слабых внешних воздействиях, вызванных природно-техногенными факторами (ветер, техногенные колебания) или при искусственном возбуждении конструкции, например с добавлением прыжков при измерении [1].

Измерения при вибромониторинге производят непосредственно во время строительства непрерывно или в определённые моменты времени при воздействии техногенной вибрации от строительных работ.

Состав системы измерений может варьироваться в зависимости от производителя оборудования, целей измерений и условий эксплуатации, однако в общем случае она включает в себя следующие основные компоненты:

- 1) **Датчики** для проведения измерений, в требуемом частотном диапазоне;
- 2) **Система сбора данных** для преобразования сигналов с датчика в цифровую форму. Иногда бывает встроена в вибродатчики;
- 3) **Компьютер**;
- 4) **Программное обеспечение (ПО)** для выполнения анализа данных и вычисления необходимых параметров;
- 5) **Дополнительные элементы различного назначения. Их состав зависит от приборного комплекса.**

На рынке производителей приборов можно встретиться с многообразием различных названий датчиков для задач вибромониторинга: акселерометр, велосиметр, вибродатчик, геофон, сейсмометр

и другие. Стоит отметить сразу, важно не название датчика, а его характеристики.

На основе анализа нормативной литературы [2–5], научных статей и книг [6–11], а также технических характеристик приборов различных производителей, в статье представлен подход к выбору и описание приборного комплекса для измерения и контроля вибрационного воздействия на конструкции зданий и сооружений.

Для выбора датчика можно выделить несколько основных факторов:

**1. Измеряемый параметр вибрации.** Виброускорение, виброскорость или виброперемещение;

**2. Частотный диапазон вибрации, Гц.** Датчик может регистрировать вибрации только в пределах своего диапазона, выход за который приводит к искажению или потере сигнала. Так для измерения собственных динамических характеристик как правило, используются датчики, чувствительные к низкочастотным колебаниям. В свою очередь, при проведении вибромониторинга в процессе строительства речь идет о вибрации средних и высоких частот, датчики выбираются соответствующие;

**3. Условия эксплуатации датчика.** Нужно понимать температурные условия окружающей среды, способы крепления (на грунт или на конструкцию), угол установки, длительность эксплуатации;

**4. Требования к системе сбора данных.** Число каналов, совместимость с дополнительным регистрирующим оборудованием при необходимости. Нормы требуют измерять значения вибрации в трех взаимно перпендикулярных осях, в связи с этим на практике часто используются трёхкомпонентные датчики, обеспечиваю-

щие одновременную регистрацию по трём осям;

**5. Удаленность от точки регистрации для передачи сигнала;**

**6. Динамический диапазон, дБ.** Для выбора нужно оценить ожидаемый минимальный и максимальный уровень вибрации. Чаще всего стоит выбирать датчики с широким динамическим диапазоном, учитывающие непредсказуемость изменения вибрационного воздействия;

**7. Чувствительность, В/g.** При выборе чувствительности необходимо знать ожидаемый уровень вибрации, для слабых вибраций требуется более чувствительные датчики;

**8. Собственная частота колебаний датчика.** Необходимо знать для исключения резонанса датчика с частотами измерений;

**9. Собственные шумы датчика.** Для выбора датчика необходимо понимать минимальный уровень интересующей вибрации и выбрать прибор, чьи шумовые характеристики ниже этого уровня. Низкий уровень шумов особенно важен при измерении малых вибраций.

Различные виды датчиков представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Примеры датчиков для вибромониторинга**

Прибор	Описание	Изображение
Трёхкомпонентный, пьезоэлектрический акселерометр 3233А	Трёхкомпонентный акселерометр, предназначенный для измерения ускорений. Частотный диапазон 0,4–6000 Гц. Работает в комплекте с многоканальными приборами	
Активный геофон MTSS-1001	Однокомпонентный геофон предназначен для измерения скоростей. Датчик оборудован штырём, что позволяет устанавливать его на грунт. Частотный диапазон 1–250 Гц	

Окончание табл. 1

Прибор	Описание	Изображение
Сейсмический цифровой акселерометр MTSS-1033A-ND	Трёхкомпонентный акселерометр, предназначенный для измерения ускорений. Может использоваться в составе стационарных систем мониторинга. Система сбора данных интегрирована непосредственно в устройство, поддерживает функции GPS и Wi-Fi. Частотный диапазон 0,1 –120 Гц	
Короткопериодный сейсмометр СМЕ-3311	Трёхкомпонентный короткопериодный низкошумящий сейсмометр предназначен для измерения скоростей. Частотный диапазон 1–50 Гц	

В ряде современных устройств система предварительной цифровой обработки и передачи сигнала встроена в корпус датчика. Это упрощает организацию измерений, минимизирует погрешности аналоговой передачи и позволяет получать цифровой сигнал напрямую, без внешних преобразователей. В ином случае пример систем сбора данных представлен в табл. 2.

Таблица 2

## Примеры систем сбора данных

ЭКОФИЗИКА-111В	<p>Трёхканальный виброметр-анализатор спектра для измерения вибрации по трём осям (<math>X, Y, Z</math>) в различных диапазонах частот.</p> <p>Предварительная обработка данных осуществляется внутри прибора. Для дальнейшего анализа, хранения и визуализации результатов можно передавать данные на компьютер. При соответствующей организации условий эксплуатации прибор можно использовать для длительного мониторинга вибрации</p>	
Универсальный сейсмический регистратор NDAS-8426N	<p>Многоканальный цифровой регистратор данных, предназначенный для сбора и хранения информации с различных датчиков. Прибор не выполняет обработки или вычислений полученных данных, для последующего анализа используются внешние устройства или компьютеры с соответствующим программным обеспечением</p>	
ВИБ-8	<p>Виброметр-анализатор спектра, выполняет предварительную цифровую обработку сигнала. Имеет внутреннюю память и/или возможность записи на SD-карту. Поддерживается автономная регистрация с последующим переносом данных в ПО на ПК. Оснащается Wi-Fi и GPS в зависимости от модификации</p>	

Далее данные передаются на компьютер для дальнейших вычислений и анализа данных, а также для оповещения о превышении допустимых значений (при вибромониторинге во время строительства). Специализированные ПО можно приобрести как в составе измерительных комплексов, так и отдельно. Выбор программного обеспечения зависит от задач: не каждое ПО поддерживает, например, определение форм собственных колебаний, автоматический расчёт затухания или построение передаточных функций, поэтому подбор программного обеспечения должен соответствовать целям мониторинга. Примеры отображения результатов измерений в специализированном программном обеспечении представлены на рис. 1–2.

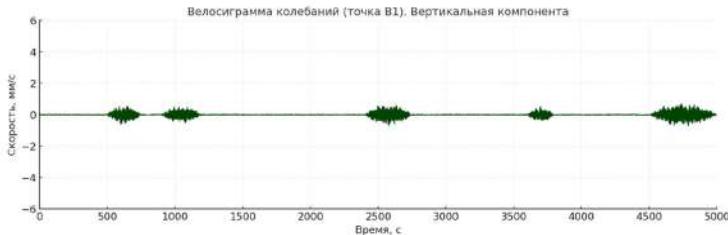


Рис. 1. Велосиграмма – зависимость выброскорости (мм/с) от времени

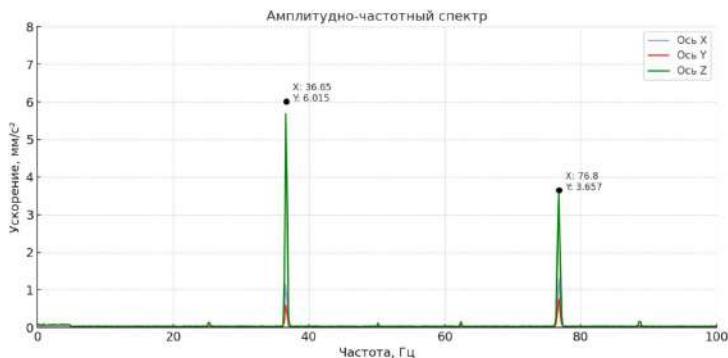


Рис. 2. Амплитудно-частотный спектр (АЧС) – результат спектрального анализа и преобразования Фурье, по которому определена частота доминирующей составляющей колебаний

Дополнительно в определённых условиях размещения, эксплуатации и оснащения оборудования, для построения полноценной системы мониторинга могут потребоваться дополнительные элементы, обеспечивающие корректную установку, защиту и надёжную работу измерительной аппаратуры, перечислю некоторые из них:

1. **Адаптер для установки на грунт;**
  2. **Монтажная площадка многопозиционная** – для измерения вибрации на вертикальных, горизонтальных или наклонных поверхностях;
  3. **Магнит** – для крепления к металлическим поверхностям;
  4. **Эпоксидный клей** – для крепления и фиксации датчиков.
- Нормами не рекомендуется, но допускается;
5. **Защитные навесные шкафы** – для защиты оборудования от влаги, пыли, механических и температурных воздействий;
  6. **Устройство автономного питания** – позволяет вести мониторинг в условиях отсутствия внешнего питания;
  7. **Соединительные кабели;**
  8. **Модуль GPS** – для привязки измерений ко времени и координатам;
  9. **Калибраторы** – для проверки точности и настройки датчиков вибрации, обеспечения достоверности измерений.

### **Заключение**

1. Комплексный подход к выбору оборудования должен учитывать не только технические характеристики датчиков, но и полный состав системы, включая крепления, защиту, питание и программное обеспечение, соответствующие конкретным задачам измерений.
2. Современные технологии позволяют создавать системы непрерывного мониторинга с автоматическим оповещением о превышении допустимых значений, что обеспечивает своевременное принятие мер по снижению негативного влияния вибрации.
3. Измерение собственных характеристик зданий при слабых воздействиях требует низкочастотных датчиков, тогда как контроль строительной вибрации – средне- и высокочастотных приборов.
4. Универсальность приборной базы позволяет использовать схожее оборудование для разных целей, но методы обработки данных,

алгоритмы анализа и программное обеспечение существенно различаются в зависимости от задач.

### **Литература**

1. *Zhang W., Wang T., Tamura Y., Yi J.* Structural modal testing using a human actuator // *Engineering Structures*. – 2020. – Vol. 221. – Article 111045. – P. 1–15.
2. ГОСТ ИСО 5348–2002. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. – М. : Стандартинформ, 2003.
3. ГОСТ Р 52892–2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – М. : Стандартинформ, 2008.
4. ГОСТ Р 53963.1–2010. Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Требования к средствам измерений. – М. : Стандартинформ, 2012.
5. ГОСТ Р 53964–2010. Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений. – М. : Стандартинформ, 2012.
6. Руденко Ю. К., Воронков А. А. Практический опыт проведения непрерывного мониторинга вибрации в зоне строительных работ // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях : Материалы Общероссийской научно-практической конференции [Москва, 18 марта 2022 г.]. – М. : Геомаркетинг, 2022. – С. 147–152.
7. Егоров П. И., Шуклина Е. И. Сейсмоакустический метод оценки динамических и физических характеристик здания // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2017. – № 1. – С. 435–439.
8. Шашкин М. А. Вибродинамический мониторинг здания в режиме реального времени с функцией управления технологией ремонтно-строительных работ // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 12. – С. 53–59.
9. Мониторинг зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации : практическое руководство / А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин, С. Г. Богов [и др.] ; под ред. А. Г. Шашкина. – СПб. : Изд-во ин-та «Геореконструкция», 2021. – 640 с. : ил. – Библиогр.: 126 назв. – ISBN 978-5-9906877-9-0.
10. Технология устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий : учебное пособие / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов ; под ред. В. В. Верстова. – СПб. : СПбГАСУ, 2014. – 363 с.
11. Hassan I. U., Panduru K., Walsh J. An In-Depth Study of Vibration Sensors for Condition Monitoring // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 3. – Art. 740. – P. 1–33. – DOI: 10.3390/s24030740.

**УДК 66.02**

Станислав Николаевич Тарасов,  
магистр  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: slava\_tarasov\_1994@mail.ru*

*Stanislav Nikolayevich Tarasov,*  
Master's degree  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: slava\_tarasov\_1994@mail.ru*

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАМЫВА MARETERRA ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АРКТИЧЕСКОГО ГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

### **ANALYSIS OF THE USE OF MARETERRA TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION OF THE ARCTIC GAS CHEMICAL COMPLEX**

В статье анализируется возможность применения технологии намыва прибрежного района княжества Монако «L'Anse du Portier» при строительстве газохимического комплекса в Арктической зоне.

Принципы, примененные при строительстве нового района Монако, признаны наиболее ответственными и высокоэффективными при реализации проектов намыва прибрежных территорий и возведения искусственных земельных участков.

Строительство объектов нефтехимической промышленности в северных регионах России требует значительного внимания к экосистемам [1, 2].

Реализация нефтегазового проекта «Арктический газохимический комплекс» происходит в два этапа.

Первый этап включает проектирование и строительство завода по производству метанола, обустройство и освоение Коровинского и Кумжинского газоконденсатных месторождений, строительство отгрузочного терминала и инфраструктуры подготовки газа [3].

Второй этап включает трансформацию и монополизацию производства. Запланировано увеличение комплекса путем ввода дополнительной линии.

**Ключевые слова:** Мареттерра, газохимический комплекс, «зеленые» строительные технологии, водоросли Посидония, перемещение.

The article analyzes the possibility of using the alluvium technology of the coastal region of the Principality of Monaco «L'Anse du Portier» during the construction of a gas chemical complex in the Arctic zone.

The principles applied in the construction of the new Monaco district are recognized as the most responsible and highly effective in the implementation of coastal alluvial projects and the construction of artificial land.

The construction of petrochemical industry facilities in the northern regions of Russia requires significant attention to ecosystems [1, 2].

The implementation of the Arctic Gas Chemical Complex oil and gas project takes place in 2 stages.

The first stage includes the design and construction of a methanol production plant, the development and development of the Korovinsky and Kumzhinsky gas condensate fields, the construction of a shipping terminal and gas treatment infrastructure [4].

The second stage involves the transformation and monopolization of production. It is planned to increase the complex by introducing an additional line.

*Keywords:* Mareterra, gas chemical complex, «green» construction technologies, Posidonia algae, displacement.

Маретерра (Mareterra) – искусственно созданный район княжества Монако, представляет собой значительное расширение города-государства, добавляя шесть гектаров к территории страны, примерно 3 % от ее общей площади.

Район был построен с использованием мелиорированной земли, с подводными кессонами (большими бетонными коробками) и спроектирован таким образом, чтобы свести к минимуму нарушение хрупких морских экосистем Монако.

При проектировании морского расширения Монако были учтены направления течений, протекающих вдоль побережья княжества. В частности, для исключения изменения направления лигурийского морского течения и вследствие этого нарушения баланса экосистем, формой искусственного намыва был принят обтекающий вид.

Одной из наиболее впечатляющих принятых мер было придумать и реализовать способы перемещения видов из рабочей зоны и обеспечить их перемещение в охраняемые районы до начала фактической работы.

Проведена программа переписи, на основе которой экспертами были определены протоколы переноса.

Перемещение 518 м<sup>2</sup> лугов посидонии глубиной около 15 метров (рис. 1). Перемещение 143 раковин «noble pen», больших двустворчатых раковин, охраняемых в Средиземном море. Перемещение восьми

блоков скальной насыпи, колонизированных прибрежным литофиллом. Блоки были перенесены к подножию Океанографического музея Монако. Кроме того, перед этими операциями «сaulerга», инвазивная водоросль, была уничтожена на участках, где она все еще присутствовала. Было обработано 1,5 гектара и удалено 2 тонны каулерпы [5].

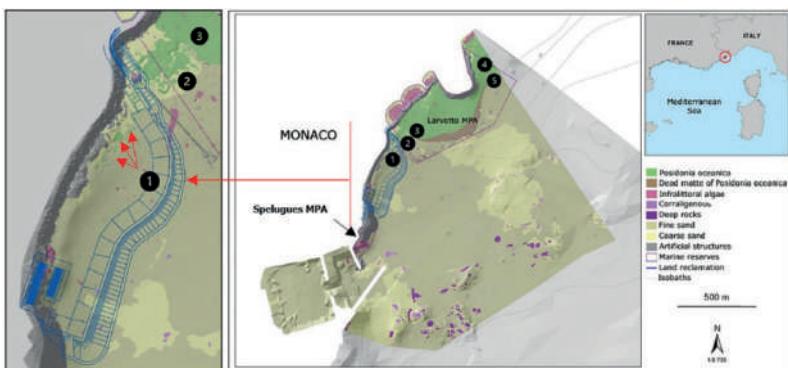


Рис. 1. Схема перемещения инвазивных водорослей

Первоначальное исследование воздействия на окружающую среду выявило два основных риска для этих экосистем, которые могут быть вызваны работой:

- повышенная мутность;
- повышенное осаждение.

Эти явления возникают в результате взвешивания частиц в воде при удалении грязи и отложений или при устройстве обратной засыпки. Это уменьшает количество света, попадающего в воду, и ограничивает возможность фотосинтеза для живых организмов.

Чтобы ограничить эти риски, в рамках проекта был принят ряд превентивных мер и адаптированы методы исполнения.

Экран для защиты от помутнения. Рабочая зона окружена двумя экранами для защиты от помутнения. Их функция – останавливать распространение частиц, которые могут покрывать материал.

Улавливатели наносов. Это устройство собирает наносы и измеряет их накопление с течением времени.

Меры мониторинга и контроля. Шкала Секки предназначена, для проверки видимости с помощью белой ленты, прикрепленной к концу веревки. Она измеряется через каждые 10 или 50 см в зависимости от зоны тестирования. Цель состоит в том, чтобы определить, на какой глубине дыра больше не видна.

Измерительные буи. Многопараметрические электронные датчики, размещенные в море, измеряющие мутность и яркость 24 часа в сутки.

Они позволяют запускать оповещение в случае достижения пороговых значений мониторинга, адаптации или отключения, установленных Государством Монако, и позволяют при необходимости осуществлять корректирующие меры.

Качество воды оценивалось с помощью биологических и физико-химических анализов, дополненных измерением прозрачности воды. В течение зимы эти анализы проводились раз в неделю. С 1 мая (начало купального сезона) по 30 сентября 2018 года каждую неделю проводились три теста. Каждый параметр контролируется для каждой из шести зон купания в княжестве. Таким образом, превышение порогового значения для одного из этих параметров может привести к закрытию соответствующей зоны купания.

Команды дайверов проводят регулярные погружения, которые позволяют визуально перепроверить измерения, полученные датчиками [3].

В рамках общего мониторинга осуществляются средства контроля для обеспечения выполнения спецификаций проекта. Но воздействие работ на участке также анализируется различными независимыми организациями, проводящими погружения для целей экологического мониторинга, отбора проб, использования и технического обслуживания различных устройств (улавливатели наносов, датчики Секки, многопараметрические зонды, воздушные и подводные камеры).

### **Начало работ Подготовка площадки**

С апреля 2017 года начался этап удаления верхней скальной насыпи (набережная Портъе) и выемки 600 000 м<sup>3</sup> ила, непригодного

для строительства. Верхний слой этого ила ( $60\ 000\ м^3$ ), расположенный на границе портовой зоны, был загрязнен в результате традиционной деятельности порта (углеводороды, жир, остатки краски и т. д.). Эти отложения были перенесены и обработаны на специализированном заводе в Вар для обеззараживания и утилизации.

Чтобы избежать риска сопутствующего загрязнения на этапе удаления отложений, верхний слой ила был удален с помощью герметичных грязевых скипов, называемых экологическими скипами. Система закрытия сборного ковша делает его водонепроницаемым и предотвращает распространение частиц во время подъема отложений с морского дна (от  $-10$  до  $-32$  метров) к емкостям на поверхности. Как только этот верхний слой был удален, был использован земснаряд, удалена грязь из нижних слоев (чуть менее  $600\ 000\ м^3$ ) без слива воды, чтобы ограничить распространение мутности и избежать ущерба для всех профилактических мер.

В общей сложности для этого потребовалось откачать почти три миллиона  $м^3$  смеси грязи и воды.

### **Выполнение работ, ограничивающих риск замутнения**

После обнажения породы под слоем ила можно приступать к фазе обратной засыпки. Обратная засыпка, состоящая из природного известнякового заполнителя, является основой, которая будет поддерживать кессоны, обозначающие будущий район в море. Как и на этапе удаления осадка, требуется такая же осторожность и точность при укладке материалов обратной засыпки, чтобы ограничить риск мутности, а также обеспечить окончательную устойчивость кессонов, которые будут устанавливаться на эти элементы. Вот почему заполнитель наносится с помощью роботизированной руки для большей точности.

Заполнитель, составляющий обратную засыпку, покрыт природной пылью (молотым известняком). Для предотвращения его рассеивания в море (хотя и безвредного для человека), известняковый заполнитель подвергался двойной промывке на производственной площадке (Шатонеф-Ле-Мартиг) и на месте отправки в княжество (в порту дю Стриай в Фос-сюр-Мер). Наконец, в Монако

заполнитель перед отправкой в море снова промывается на судне, на котором он находится.

После подготовки площадки упомянутые выше устройства обнаружения (датчики, ловушки для отложений), продолжают оставаться активными. Они позволяют осуществлять постоянный мониторинг помещения в режиме реального времени на различных этапах строительных работ в море.

Подводные камеры или камеры беспилотников дополняют систему и дают возможность наблюдать за состоянием участка.

### **Корректирующие меры**

Каждую неделю бригады уборщиков осматривают коралловую стену в морском заповеднике Спелугу и удаляют любые отложения, которые могли там осесть, с помощью специально разработанных воздуходувок и пылесосов.

Особое внимание уделялось 25 экземплярам традиционных видов (желтая горгония, большая аксинелла, красный коралл).

На борту судов, работающих в рабочей зоне, персонал подготовлен к любому риску аварийного загрязнения. Устройства (плавучие заграждения) заранее установлены. Они обеспечивают оперативное реагирование в соответствии с установленными процедурами.

Кроме того, регулярно проводятся учения по борьбе с загрязнением для оценки процедур реагирования.

Были разработаны методы экодизайна, гарантирующие экологический баланс участка. Этап, следующий за погружением 18 кессонов, был тщательно спланирован, чтобы стимулировать колонизацию затопленных частей сооружения живыми видами (фауной и флорой). Поэтому фасады 18 погруженных на обратную засыпку кессонов (они будут разграничивать будущий район и одновременно защищать его от зыби) оборудованы устройствами, предназначенными для размещения морской флоры и фауны. Во время строительства наносится специальная отделка, прорезаются канавки глубиной 15 мм, и на гладкой поверхности создается зернистость, которая позволит крепить изделия к вертикальным стенам. кроме того, позже будут установлены полостные модули, подстил-

ки из искусственной морской травы, сетки, низкие каменные стеньки и габионы на фасадах кессонов и в камерах «Jarlan». Эти средства позволяют создавать искусственные среды обитания и заселять эту поверхность различными видами фауны и фаунистических растений. Использование камер Ярлана позволит воссоздать небольшие неглубокие участки.

Наиболее значимым и крупным проектом в рамках Стратегии развития Арктики является строительство газохимического комплекса. Застройщиком и заказчиком в данном проекте является ООО «Русхим Газ» (ООО «РХ ГАЗ»). Генеральным проектировщиком является ООО «Салаватнефтехимпроект».

Компания реализовывает в регионе вертикально-интегрированный газохимический комплекс, по производству метанола, стабильного газового конденсата и гранулированной серы (рис. 2). Кумжинское и Коровинское газоконденсатные месторождения, располагающиеся в Ненецком автономном округе, выбраны в качестве минерально-сырьевых центров. Реализуется строительство комплекса по производству метанола, с попутным формированием портовой инфраструктуры, для организации экспорта.

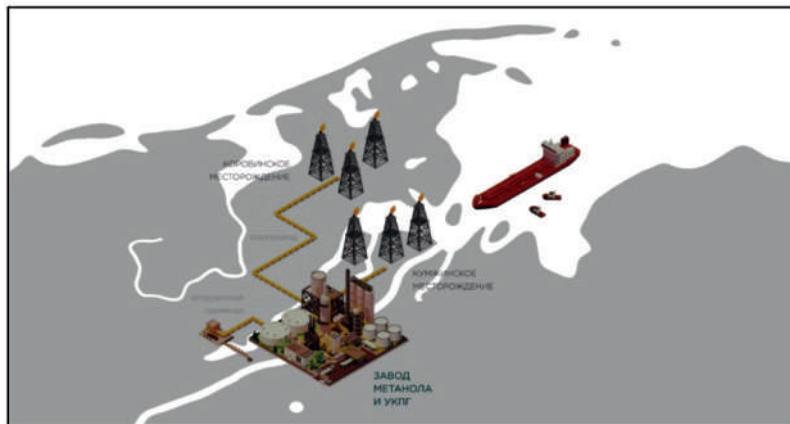


Рис. 2. Модель газохимического комплекса

Комплекс состоит из объектов подготовки газового конденсата и газа, завода по производству метанола, объектов общезаводского хозяйства, сооружений складского и подсобно-вспомогательного назначения, товарно-сырьевых парков, инженерного оборудования, сетей и систем инженерно-технического обеспечения.

Реализация нефтегазового проекта «Арктический газохимический комплекс» происходит в два этапа.

Первый этап, с 2025 по 2038 гг., включает проектирование и строительство завода по производству метанола, обустройство и освоение Коровинского и Кумжинского газоконденсатных месторождений мощностью 1,8 млн т в год, строительство отгрузочного терминала и инфраструктуры подготовки газа в период с 2028 по 2029 г. [4].

Второй этап, с 2025 по 2030 г., включает трансформацию и монополизацию производства. Запланировано увеличение комплекса путем ввода дополнительной линии.

Запуск 2-й стадии проекта запланирован на 2031 год. В результате газохимический комплекс должен выйти на полную производственную мощность.

Также предусматривается строительство трехсоткилометрового магистрального газопровода (МГП) для транспортировки газа до побережья Баренцева моря в районе п. Индига (300 км).

Фундаменты зданий и сооружений, возводимых на территории с многолетнемерзлыми грунтами, разрабатываются на основе данных специализированных инженерно-геологических исследований. Эти исследования включают в себя геокриологические и гидрогеологические обследования, принимая во внимание конструктивные и технологические аспекты проектируемых объектов, а также их тепловое и механическое взаимодействие с многолетнемерзлыми грунтами, а также возможные изменения в геокриологических условиях, возникающие в процессе строительства и эксплуатации, а также освоения территории. Эти данные получены в результате инженерных изысканий и теплотехнических расчетов оснований.

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований могут применяться различные типы фундаментов, такие

как свайные, столбчатые и другие, включая фундаменты на искусственных (насыпных и намывных) основаниях. Выбор типа фундамента и метода его устройства определяется проектом с учетом инженерно-геокриологических условий, конструктивных особенностей сооружения и технико-экономической целесообразности.

Ввиду того, что территория строительства Арктического ГХК в местах ресурсных баз и месторождений имеет выраженные орографические элементы (субширотные водоразделы) использование намывных грунтов при строительстве, является актуальным. Можно выделить несколько ключевых аспектов, которые подчеркивают их важность и потенциальные выгоды. Намывные грунты характеризуются уникальными физико-механическими свойствами, что делает их особенно подходящими для строительства в сложных климатических и геологических условиях Арктики. Обладают высокой устойчивостью к воздействию морозов и способны компенсировать возможные деформации, что крайне важно для объектов нефтехимической отрасли. Намывные грунты могут быть получены из доступных местных ресурсов, что минимизирует транспортные затраты и сокращает углеродный след объектов, строящихся с их применением. Это подчеркивает концепцию устойчивого развития, ориентированную на использование местных материалов, а также усовершенствование логистических процессов.

### **Литература**

1. Рудский В. В. Экология и природопользование Российской Арктики: состояние, проблемы, перспективы // Северный регион: наука, образование, культура, 2015, № 2, т. 2. с. 187–198.
2. Петров И. И. Технологии проектирования зданий в условиях экстремального климата // Архитектурное проектирование, – 2020. – № 19(2). – С. 87–93.
3. Ковалев Д. Ю. Строительные технологии в условиях многолетнемерзлых грунтов // Вестник строительного университета. – 2023. – № 10(3). – С. 12–20.
4. Научный журнал «Environmental Challenges» 18 (2025) 101087. – С. 3–11.

**УДК 69.059.5:004:711**

*Ирина Сергеевна Шестакова,  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: irina\_repko@mail.ru*

*Irina Sergeevna Shestakova,  
Master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: irina\_repko@mail.ru*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ**

### **MODERN TECHNOLOGIES FOR MOVING HISTORICAL BUILDINGS**

Сохранение историко-культурного архитектурного наследия в современном мире является одной из ключевых проблем формирования идентичности. Сложившаяся историческая застройка представляет собой не просто комплекс зданий, а является результатом выражения социально-культурных идей и ценностей населения, проживающего на данной территории. Однако на практике создание комфортной городской среды зачастую вступает в конфликт с интересами сохранения исторических зданий в связи с тем, что они могут занимать ключевые локации, препятствующие дальнейшему развитию городских пространств. В таких случаях зачастую единственным способом сохранения исторических зданий является физическое передвижение объекта на новое место. Именно в этих случаях особую актуальность приобретает использование современных методов переноса зданий. В исследовании проведен анализ существующих и перспективных решений в этой области. Научная новизна работы заключается в прогнозировании основных направлений развития технологий переносов зданий, что позволяет концентрировать усилия в необходимых областях.

*Ключевые слова:* исторические здания, технологии переноса, современные технологии, городское пространство, идентичность.

The preservation of historical and cultural architectural heritage in the modern world is one of the key problems of identity formation. The existing historical buildings are not just a complex of buildings, but are the result of the expression of socio-cultural ideas and values of the population living in this territory. However, in practice, the creation of a comfortable urban environment often comes into conflict with the interests of preserving historical buildings due to the fact that they can occupy key locations that impede the further development of urban spaces. In such

cases, often the only way to preserve historic buildings is to physically move the object to a new location. It is in these cases that the use of modern methods of moving buildings becomes especially relevant. The study analyzes existing and future solutions in this area. The scientific novelty of the work lies in the prediction of the main directions of development of technologies for the transfer of buildings, which makes it possible to concentrate efforts in the necessary areas.

*Keywords:* historical buildings, transfer technologies, modern technologies, urban space, identity.

В современном мире вопросы сохранения идентичности становятся все более актуальными. В этом контексте окружающее нас исторически сложившееся архитектурное пространство является одним из выразителей идей и социально-культурных ценностей социума, проживающего на данной территории [1]. В связи с этим сохранение знаковых исторических объектов является одним из приоритетов государственной политики [2].

Однако в современных условиях, особенно в городском пространстве, вопросы развития территории могут вступать в конфликт с необходимостью сохранения исторического архитектурного наследия, препятствуя созданию комфортного урбанизированного пространства для проживания населения. Особенно это касается ситуации, когда возникает необходимость создания или расширения новых пространств, прокладки магистралей и путей сообщения. В таких условиях одним из компромиссных решений для сохранения культурно-исторической значимости места является перенос исторических зданий с целью конфигурации нового пространства.

Особенную значимость технология переноса исторических зданий играет в городах, уже имеющих исторически сформированный облик. К примеру, в Санкт-Петербурге эта технология не просто нашла свое применение, но и демонстрирует дальнейший потенциал развития. В 2023 году произошел знаковый перенос исторического корпуса Императорского воспитательного дома, расположенного по набережной Черной речки, 1, на 7 м на запад и 45 м на юг с целью освобождения пространства для строительства жилого комплекса «Министр» [3]. В дальнейшем планируется перемещение объекта культурного наследия регионального значения «Историческая

железнодорожная станция Фарфоровый пост» с целью расширения высокоскоростных железнодорожных путей сообщения. В настоящее время государственная историко-культурная экспертиза дала положительное решение по данному вопросу [4].

Существующая ситуация вновь актуализирует применение технологий при осуществлении перемещений исторических зданий при современном уровне технологий. Несмотря на то, что первое документированное перемещение крупного здания значится за архитектором Аристотелем Фиораванти, передвинувшего на целых 13 метров колокольню церкви Санта-Мария-Маджора в Болонье [5], тем не менее суть технологии переноса зданий остается неизменной и по сей день. Она заключается в создании для переносимого объекта временного недеформируемого основания, которое путем применения соответствующих механизмов и приспособлений транспортируется на новое место и там вновь устанавливается на постоянный фундамент.

Наибольшее развитие технологии переноса зданий получили в XIX веке. В это время алгоритм передвижения приобрел вид, который в значительной мере сохранился и сейчас. Он заключается в обустройстве под зданием жесткой опорной рамы (обвязочного пояса), на которую опираются несущие конструкции объекта, подъема здания гидравлическими домкратами и подведение под временную раму ходовых балок и роликовых опор. На следующем этапе здание по рельсовым путям перемещается на новое место, где уже обустроен фундамент и проводится операция по посадке здания на новое место и демонтажу оборудования [6].

Так, одной из технологий перемещения зданий является применение вместо рельсовых путей и роликовых опор использование ходовой части на надувных колесах. Используя данную технологию, в 2001 г. в США переместили центральную секцию старого терминала аэропорта Ньюарк, весом 7000 т (рис. 1) [7].

Порядок работы остается прежним: монтаж жесткой опорной рамы под зданием, поднятие рамы гидравлическими домкратами, подведение под раму ходовых тележек, перенос тяжести на них и перемещение здания на новое место.



Рис. 1. Процесс перемещения центральной секции терминала аэропорта Ньюарк, США. Источник – [7]

Еще одним примером внедрения инноваций для совершенствования существующей технологии переноса зданий является применение новых материалов покрытия направляющих на основе тефлона. Это позволяет отказаться от катков и использовать скольжение при передвижении объектов [8].

Также общим местом современных методов переноса зданий является широкое применение информационных технологий и современных геодезических инструментов для контроля процесса передвижения. Сюда можно отнести компьютерное моделирование процесса передвижения объекта; использование многочисленных датчиков, передающих в режиме реального времени необходимые данные на центральный компьютер, через который происходит управление передвижением объекта и регулирование усилия на приводных механизмах; широкое использование лазерных инструментов для отслеживания горизонтального и вертикального смещения перемещаемых конструкций.

То есть, можно заключить, что развитие современных технологий передвижения исторических зданий базируется на классической схеме с некоторыми усовершенствованиями в части применения новых, технологически более совершенных подъемных, двигательных механизмов и информационных технологий [9].

В то же время в последние годы в этой сфере обозначилась новая перспективная технология, основанная на использовании принципиально новых механизмов для процесса перемещения объектов. Технология, получившая название «walking machine», была запатентована в 2018 году китайской компанией «Shanghai Evolution Shift» [10]. На рис. 2 представлено протекание технологического процесса по перемещению здания на базе этой технологии.

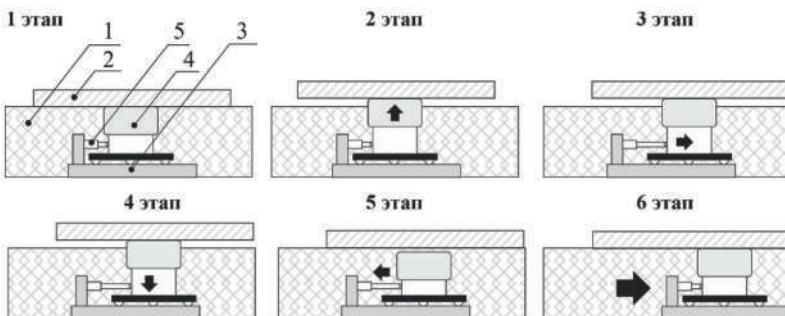


Рис. 2. Перемещение объекта по технологии «walking machine».

Источник: составлено автором на основании [9], где 1 – временная опора; 2 – железобетонное основание, подведенное под объект; 3 – шагающее устройство; 4 – вертикальный домкрат, 5 – горизонтальный домкрат

Как видно из рис. 1, процесс включает в себя создание железобетонного основания под переносимым объектом (2) и временной опоры, на которой оно располагается. На 1 этапе под основание (2) в определенном порядке размещаются шагающие устройства (3). На 2 этапе вертикальные домкраты (4) производятся подъем плиты основания (2). Следующий этап 3 характеризуется тем, что в работу включаются горизонтальные домкраты, которые обеспечивают скольжение вертикальных домкратов, расположенных на скользящих платформах, в требуемом для перемещения направлении. После чего на 4 этапе горизонтальным домкратом (4) вес конструкции через основание (2) переносится на временную опору (1). На 6 этапе шагающее устройство (3) перемещают на следующее расстояние шага вперед и повторяют цикл начиная с 1 этапа. На рис. 3 приведены

фотографии передвижения здания пятиэтажной школы в Шанхае, реализованного на основе описанной технологии.



Рис. 3. Процесс перемещения 5-этажной школы в Шанхае по технологии «walking machine». Источник – [10]

### Заключение

Суммируя полученные результаты обзора современных технологий переноса исторических зданий, можно сделать следующие выводы:

- в основе всех описанных технологий общим моментом остается создание временного основания (металлическая обвязка, железобетонная плита) на которую переносится конструкция здания;
- основными резервами совершенствования технологии переноса является применение технологически более совершенных материалов и оборудования для организации процесса, а также широкое использование современных технологий и роботизированных механизмов;
- несмотря на все усилия, все представленные технологии переноса зданий являются затратными как по времени, так и по трудоемкости и финансовым затратам.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на существующие сложности, в некоторых случаях передвижение исторических объектов является единственным возможным способом сохранения историко-культурного окружения и сохранения исторического облика городов, что является в настоящее время одной из самых актуальных проблем в современном градостроительстве.

## **Литература**

1. Ахметьянов Х. Р. Организационно-педагогические условия развития профессионально-культурной идентичности студентов архитектурно-строительных специальностей // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. 2021. № 4(113). С. 129–137.
2. Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 № 73-ФЗ (последняя редакция) / КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/) (дата обращения: 12.06.2025).
3. В Петербурге впервые в истории передвинули целый дом. Фото – РБК [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rbc.ru/spb\\_sz/05/01/2024/6597aca-b9a794796c4c6f8f3/](https://www.rbc.ru/spb_sz/05/01/2024/6597aca-b9a794796c4c6f8f3/) (дата обращения: 12.06.2025).
4. Акт по результатам государственной историко-культурной экспертизы раздела документации, обосновывающего меры по обеспечению сохранности объекта культурного наследия регионального значения «Историческая железнодорожная станция “Фарфоровский пост”», при проведении земляных, строительных, мелиоративных, хозяйственных работ, указанных в статье 30 Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» работ по использованию лесов и иных работ: «Строительство дополнительных путей на участке Санкт-Петербург-Главный (вкл.) – Обухово II (вкл.) под специализированное пассажирское сообщение. 1 этап – строительство дополнительных путей на участке Санкт-Петербург-Главный (вкл.) – Обухово II (вкл.). Раздел 10. Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами. Часть 6. Мероприятия по обеспечению сохранности объектов культурного наследия регионального значения «Историческая железнодорожная станция “Фарфоровский пост”». ИИМК РАН. Шифр: 985-01-7777-1-605-СОКН. 2024 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://kgiop.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2025/04/17/1\\_5gnhtO3.pdf](https://kgiop.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2025/04/17/1_5gnhtO3.pdf) (дата обращения: 08.06.2025).
5. Муштанова О. Ю. Аристотель Фьюранти и его роль в формировании ансамбля Московского Кремля в XV–XVI вв. // Манускрипт. 2021. Т. 14, № 2. С. 393–398.
6. Вадатурский Д. В. Технология переноса зданий и сооружений от истоков до наших дней. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. С. 55–68.
7. Historic, 5,000-ton Newark international airport terminal, an art deco landmark, making a 3,700-foot trip to new site – the move of the central section of building 51 is the heaviest structure move on rubber-tire dollies in U.S. history [Electronic resource]. URL: [https://www.panynj.gov/port-authority/en/press-room/press-release-archives/2001\\_press\\_releases/historic\\_5\\_000-tonnewarkinternationalairst-terminalanartdecolan.html/](https://www.panynj.gov/port-authority/en/press-room/press-release-archives/2001_press_releases/historic_5_000-tonnewarkinternationalairst-terminalanartdecolan.html) (дата обращения: 13.06.2025).

8. Ворона-Сливинская Л. Г., Баранчук М. Ю. К вопросу реставрации памятников деревянного зодчества. // В сборнике: Инновации в деревянном строительстве. Материалы 11-й Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 269–277.
9. Шадрина А. А. Технология передвижки зданий // Региональное развитие. 2015. № 3. С. 15.
10. CN110158989 Building walking type transverse moving method [Электронный ресурс]. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN251345088/> (дата обращения: 12.06.2025).
11. A 5-story building in China ‘walks’ to new location CNN [Электронный ресурс]. URL: <https://edition.cnn.com/style/article/shanghai-relocate-building-preservation-intl-hnk-scli/index.html/> (дата обращения: 12.06.2025).

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

<i>Макеева П. С., Графкина М. В.</i>	
СУОТ ООО «Меса» . . . . .	3
<i>Чернякова Н. Д., Масюкова А. М., Горбунова О. В.</i>	
Контроль состояния организма работников с помощью носимых биометрических датчиков . . . . .	9
<i>Синякова М. А., Черник Г. Г.</i>	
Ионит «Флорентит» и его применение для упрочнения стекла . . . . .	17
<i>Соловьева А. К., Кудинов В. В.</i>	
Основные причины несчастных случаев в строительной отрасли . . . . .	23

### **СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ**

<i>Беляков А. Э.</i>	
Моделирование ударных нагрузок при забивке свай . . . . .	27
<i>Болотова И. М.</i>	
Анализ нормативных документов, регламентирующих численное моделирование (расчёт) многолетнемерзлого грунта (ММГ) . . . . .	35
<i>Панькова А. М.</i>	
Изучение влияния загрязнения нефтепродуктами на гранулометрию песков . . . . .	41
<i>Шумелянко П. Р., Калач Ф. Н., Осокин А. И.</i>	
Стабилизация грунтов инъекциями геля на основе коллоидного кремнезема . . . . .	56

**СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

<i>Карпенко А. В., Хомякова И. В.</i>	
Сравнительный анализ подходов к расчету плоских кирпичных перекрытий . . . . .	64
<i>Фомичева Н. Н., Спиренкова О. В., Тушина А. С.</i>	
Нарастание модуля упруго-мгновенных деформаций бетона в раннем возрасте . . . . .	70

**СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

<i>Быков А. О., Тимаков П. Г., Королев А. С., Шарапов Е. С.</i>	
Методы оценки и анализа физико-механических свойств древесины методами упругого отскока и ударного импульса . . . . .	77
<i>Егошин О. С., Королев А. С., Шарапов Е. С.</i>	
К вопросу обнаружения дефектов в плитах из перекрестноклееной древесины физическим способом . . . . .	86
<i>Зверев Н. А., Данилов Е. В.</i>	
Исследования методов усиления составных двутавровых балок . . . . .	92
<i>Копейкин О. Е.</i>	
Исследование применимости вероятностного метода расчета строительных конструкций на заданный срок эксплуатации на примере стальной фермы . . . . .	112

**СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ**

<i>Артиухова Л. С., Чернышкова И. А.</i>	
Применение неорганических покрытий при строительстве и проектировании трубопроводов . . . . .	120
<i>Варанкина Т. К.</i>	
Текущее состояние нормативной базы в строительной наноиндустрии . . . . .	127
	543

<i>Воробьева М. А., Иванова Т. А.</i>	
Влияние экологических норм и требований на изменение ГОСТов, связанных с устойчивым развитием и охраной окружающей среды . . . . .	134
<i>Кириченко П., Кострикин М. П.</i>	
Сталефиброжелезобетон для изгибаемых элементов . . . . .	147
<i>Лейкин Д. М.</i>	
Повышение доверия к системам добровольной сертификации . . . . .	158
<i>Михеева С. А.</i>	
Влияние пористых заполнителей на пластичность бетонной смеси . . . . .	164

**СЕКЦИЯ**  
**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

<i>Артюхова Л. С., Чернышкова И. А.</i>	
Оптимизация акустики атриумных пространств естественными методами . . . . .	173
<i>Буманов К. А., Плюснин М. Г.</i>	
Моделирование процессов тепловлагообмена каркасного дома . . . . .	181
<i>Долбня Д. В., Есауленко И. В.</i>	
Оптимальное применение различных типов теплоизоляционных материалов в конструкциях зданий . . . . .	187
<i>Сомов В. В., Глухова А. В.</i>	
Модульное строительство как инструмент ускоренного развития городской среды в России . . . . .	193
<i>Тебиева Е.</i>	
Завтрашний день фасадных решений – в гармонии эстетики, современных технологий и энергоэффективности . . . . .	202
<i>Тырылева М. А., Пастух О. А.</i>	
Комплексный подход строительства в условиях арктического климата (на примере объектов на вершинах Хибин) . . . . .	210

<i>Чекалин К. С., Сокол Ю. В.</i>	
Возможности вторичного применения строительных материалов и бетонных конструкций, полученных в результате демонтажа зданий в строительстве . . . . .	218
<i>Черепанов С. Н., Пегин П. А.</i>	
Требования к архитектурным конструкциям здания для интеграции беспилотной доставки в городскую среду . . . . .	224

**СЕКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

<i>Алексеева Д. Ю., Островская Н. В.</i>	
Реакция нелинейной колебательной системы на импульсные воздействия . . . . .	234
<i>Зайнулин Д. А., Островская Н. В., Тетушкин С. С.</i>	
Научно-популярный подход к обучению студентов сейсмостойкому строительству . . . . .	248
<i>Михайлова О. В., Ярошутин Д. А.</i>	
Анализ причин возникновения повреждений и разрушений деформационных швов модульного типа . . . . .	262

**СЕКЦИЯ  
ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

<i>Алексеева Д. А., Руденко А. А.</i>	
Методология планирования строительства в условиях ресурсных ограничений: анализ и перспективы развития . . . . .	270
<i>Белянская А. И.</i>	
Анализ применения модульных технологий в жилищном строительстве . . . . .	275
<i>Бурунов Г. А.</i>	
Анализ интеграции дронов и лазерного сканирования в строительстве . . . . .	282
<i>Воронова А. С.</i>	
Цифровизация организации строительного производства . . . . .	287

---

*Содержание*

---

<i>Гаспарян А. К.</i>	
Календарный график проектно-изыскательских работ при реконструкции линейных объектов в Санкт-Петербурге . . . . .	292
<i>Гейвандова М. А.</i>	
Анализ существующих методов строительства антенно-мачтовых сооружений, башен сотовой связи . . . . .	300
<i>Дербенев А. С.</i>	
Оптимизация строительных процессов при возведении индивидуальных жилых домов в городской среде . . . . .	306
<i>Ефремова Н. А., Бовтееев С. В.</i>	
Применение технологии струйной цементации Jet Grouting в современном строительстве . . . . .	315
<i>Закиров Р. Р.</i>	
Анализ возможностей применения VR- и AR-технологий в организации строительства . . . . .	324
<i>Иванов Д. Н., Челнокова В. М.</i>	
Анализ материально-технического обеспечения строительных объектов . . . . .	329
<i>Кащеев Н. А., Писарева К. А.</i>	
Оценка возможностей применения искусственного интеллекта при планировании и контроле сроков строительных проектов . . . . .	336
<i>Лебедева О. А.</i>	
Применение технологии 4D-моделирования в области атомной энергетики . . . . .	343
<i>Подочникова Д. И., Ступакова О. Г.</i>	
Внедрение принципов «Бережливого строительства» в процессы календарного планирования . . . . .	353
<i>Манукян Д. А.</i>	
Применение системотехники для повышения надежности календарных графиков . . . . .	362
<i>Марков Д. М., Мотылев Р. В.</i>	
Организационно-технологическая надежность в строительстве: сравнительный анализ опыта ведущих ученых. . . . .	366
546	

<i>Морозов С. С.</i>	
Анализ методов календарного планирования строительства промышленных предприятий . . . . .	373
<i>Сергеев В. С.</i>	
Анализ организации процессов технического обследования зданий и сооружений в условиях временных ограничений . . . . .	378
<i>Третьякова З. В.</i>	
Исследование и определение наиболее востребованных гибких методологий и программных продуктов для управления строительными проектами . . . . .	385
<i>Федотов Н. В.</i>	
Совершенствование процесса календарного планирования строительства жилых комплексов на основе интеграции методики учета рисков . . . . .	393
<i>Фролова И. В., Бовтееев С. В.</i>	
Современные информационные технологии календарно-сетевого планирования и контроля строительных проектов . . . . .	403
<i>Шохин В. А.</i>	
Анализ и оценка факторов, влияющих на организационно-технологические решения нулевого цикла строительства . . . . .	410

**СЕКЦИЯ**  
**ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

<i>Ахметшакиров Д.</i>	
Технология производства работ по монтажу сейсмоизоляторов . . . . .	427
<i>Батырева Д. К.</i>	
Формирование основных параметров и критериев к информационной модели при организации строительства на различных этапах жизненного цикла зданий . . . . .	435
<i>Вольская В. В.</i>	
Умное строительство: роль цифровизации в развитии городов . . . . .	440
	547

## *Содержание*

---

<i>Гукова А. Е.</i>	
Анализ структурного износа и аварийности жилых зданий Санкт-Петербурга . . . . .	448
<i>Жердева А. С.</i>	
Дефекты конструкций подземных железобетонных резервуаров . . . . .	456
<i>Коляда А. В.</i>	
Технология применения комплекса оборудования альтернативных источников энергии . . . . .	462
<i>Кочнева Е. А.</i>	
Сравнительный анализ методов возведения многоэтажных жилых зданий . . . . .	472
<i>Минаков Д. В.</i>	
Усовершенствование технологии навесных вентилируемых фасадов (НВФ) для жилищного строительства в зимний период . . . . .	486
<i>Мухина Л. А.</i>	
Оценка сборных технологий для быстровозводимых зданий в Арктической зоне . . . . .	492
<i>Расламбекова М. И.</i>	
Способы повышения хладостойкости металлических конструкций при строительстве в условиях Крайнего Севера . . . . .	503
<i>Серебряков И. С.</i>	
Усовершенствование технологий усиления конструкций при реконструкции деревянных скатных кровель . . . . .	509
<i>Смирнова М. И.</i>	
Приборные комплексы для вибромониторинга и определения собственных динамических параметров зданий и сооружений . . . . .	516
<i>Тарасов С. Н.</i>	
Анализ применения технологии намыва Mareterra при строительстве арктического газохимического комплекса . . . . .	525
<i>Шестакова И. С.</i>	
Современные технологии перемещения исторических зданий . . . . .	534

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ  
СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Сборник статей участников  
III Национальной (Всероссийской)  
научно-технической конференции

Компьютерная верстка *O. H. Комиссаровой*

Подписано к печати 15.12.2025. Формат 60×84 1/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 31,97. Тираж 300 экз. Заказ 139. «С» 67.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ